ASSOCIATION INTERNATIONALE DES SCIENCES HYDROLOGIQUES

Comité National Français des Sciences Hydrologiques

TRAVAUX et DOCUMENTS
de la
COMMISSION DE TERMINOLOGIE

N° 3

CONTRIBUTIONS
au
DICTIONNAIRE DES SCIENCES HYDROLOGIQUES

Edition Décembre 1996

Membres de la Commission de Terminologie:

Mmes C. COSANDEY
M. DACHARY
M.M. J.P. CARBONNEL, président
H. COTTEZ
P. HUBERT
J. MARGAT
J. SIRCOULON
J.F. ZUMSTEIN

Membres associés :
Mme E. FUSTEC, MM. Y.BLANC, O.CAYLA, D.DUBAND, P.GIVONE, R.LETOLLE, R.POURRIOT, C.THIRRIOT, J.P. TRIBOULET.

Toute correspondance doit être adressée à :

Jean-Pierre Carbonnel
87 bis rue du Château
92600 ASNIERES
Fax : 01 47 90 39 69

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

Editorial

La Commission de Terminologie du CNFSH a, maintenant, pris sa vitesse de croisière. Ses objectifs sont bien individualisés. Deux axes principaux de travail ont été définis, d'une part l'élaboration du "Dictionnaire des Sciences Hydrologiques" dont nous vous présentons ici la seconde contribution et d'autre part l'élaboration d'un corpus des Textes Fondateurs de l'Hydrologie dont le premier fascicule est paru au cours de l'année 1996.

Un nouveau chantier est en gestation, celui de l'Histoire des instruments de mesure en hydrologie. Beaucoup plus complexe et dispersé que les précedents ce thème a besoin de bonnes volontés pour continuer d'exister. C'est donc un appel à la communauté des hydrologues que nous lançons afin qu'ils nous aident à alimenter cette rubrique que les membres actuels de la Commission ne pourront continuer d' assumer seuls.

Comme l'année dernière, nous avons agrémenté la seconde partie de ce fascicule par des "Mélanges" dont nous espérons que la diversité est susceptible de plaire au plus grand nombre. Nous attendons vos réactions.

J.P.C.

CONTRIBUTIONS

au

DICTIONNAIRE DES SCIENCES DE L'EAU

"Or qu'est-ce qu'un dictionnaire ?
C'est un grenier à mots avec pour
chaque mot son mode d'emploi..."

Michel Tournier - Le pied de la
lettre. Mercure de France, 1996

Table des matières

1. Notions fondamentales

Aquifère
Débit (moyen) annuel
Eau salée
Espace de liberté (d'un cours d'eau)
Etiage
Eutrophisation
Hydrosystème
Irrigation
Lac
Nappe
Pluie efficace
Précipitations
Risque hydrologique ou lié à l'eau
Salinisation
Source
Système aquifère

2. Outils

Bilan (hydrologique, hydrique)
Isotopes
Modèles

Toutes les fiches sont signées de leurs auteurs. Elles ont toutes fait l'objet d'une discussion en Commission. Les parties "Etymologie, Historique" ont toutes été rédigées par H.Cottez.

Notions fondamentales

AQUIFERE
adjectif et substantif

Etym. et Histoire du formant initial aqu(a,e,i) - du latin aqua, eau - et du formant final -fère - latin fer -, qui porte sur soi, apporte, produit. L'adjectif est employé pour la première fois en 1809 par Lamarck (Philosophie zoologique, t.III, p.138) qui distingue les trachées aquifères et les trachées aérifères. Il est repris en 1834 par Arago en hydrologie, nappe aquifère et couche aquifère (Ann. du Bureau des longitudes, p.225). L'adjectif substantivé comme nom masculin est emprunté en français (H.Schoeller,1962) à l'anglais aquifer de même origine (O. Meinzer, 1923) et s'emploie exclusivement en hydrogéologie. " Le terrain dans lequel l'eau circule est dit le terrain aquifère ou simplement l'aquifère" (H.Schoeller, Les eaux souterraines).

I. - ADJECTIF

Définitions existantes
* Littré : "qui porte, qui contient de l'eau"
* Le Robert : "qui contient de l'eau"
* Dict. Franç. d'Hydrogéologie, 1977 et Glossaire Internat. d'Hydrogéologie, 1978 : " qui contient de l'eau en partie mobilisable par gravité, conducteur d'eau"

Définition proposée:

En parlant d'une roche, d'une formation géologique : qui contient de l'eau en partie mobilisable par gravité; conducteur d'eau, productif en eau.

Commentaires
- Qualifie généralement un milieu minéral naturel défini - un terrain, une couche ou formation géologique ou encore un système - et non une structure artificielle : "une couche aquifère", un "système aquifère".
La référence au fait de contenir de l'eau n'a pas le sens de la retenir ; elle n'exclut pas la mobilité de l'eau, la possibilité de son renouvellement. Le milieu "porteur" d'eau est en même temps potentiellement "producteur" d'eau : il permet la mobilisation, l'extraction de l'eau.
Aquifère est conceptuellement analogue aux nombreux qualificatifs formés avec le même suffixe, courants dans les sciences de la terre, tels que métallifère, aurifère, pétrolifère, fossilifère... : une roche est en quelque sorte un "minerai d'eau".
- S'oppose à aquiclude : qui contient de l'eau non mobilisable (terme créé initialement en anglais par O.Meinzer en 1923 comme substantif).
- Ne doit pas être employé dans les sens impropres de "relatif à l'eau souterraine" ou "d'eau souterraine". Cf. les expressions "nappe aquifère" et "ressource aquifère" à proscrire.

- Parenté sémantique : aquifère et perméable. Tout milieu aquifère est nécessairement perméable. Mais aquifère implique la présence réelle d'eau souterraine, tandis que perméable désigne seulement une aptitude à être pénétré et traversé par l'eau (voire par un autre fluide), et peut qualifier non seulement un milieu naturel, mais aussi un milieu artificiel, un matériau.

II. - SUBSTANTIF

Définition proposée

Corps (couche, massif) de roches perméables à l'eau, à substrat et parfois à couverture de roches moins perméables, comportant une zone saturée et conduisant suffisamment l'eau pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.
L'aquifère est l'ensemble du milieu solide (contenant) et de l'eau contenue. En fonction de son taux de remplissage un aquifère peut comporter une zone non saturée.

Commentaires

- Un aquifère est un corps géomètriquement défini et délimité et non un milieu indéfini.

- Le concept d'aquifère se réfère d'abord à des caractéres hydrogéologiques structuraux permettant une productivité en eau souterraine supérieure à un minimum conventionnel. Il est à distinguer du concept plus hydrodynamique et plus large de système aquifère, représentable par un modèle conceptuel et qui peut être composé de plusieurs aquifères, d'aquicludes et "d'aquitards" (formations semi-perméables capacitives).
Néanmoins aquifère peut être pris, par simplification, dans le sens de système aquifère, lorsque des qualificatifs structuraux lui sont attribués (cf. typologie).

Synonymie : Formation ou couche aquifère; réservoir aquifère (qui met l'accent sur la fonction capacitive d'un aquifère).

Typologie :

Les aquifères peuvent être classés et recevoir différents qualificatifs :

- Suivant la structure et le type de perméabilité du milieu, lié généralement à sa constitution lithologique, en :
  * aquifère continu, formé par un milieu poreux (à "volume élémentaire représentatif" assez petit, d'ordre métrique)
  * aquifère discontinu fissuré, formé par un milieu fissuré (à "volume élémentaire représentatif" d'ordre décamétrique à hectométrique, voire plus grand)
  * aquifère discontinu karstique, à réseau de cavités et conduits karstiques, sans définition de "volume élémentaire représentatif" possible.

- Suivant les conditions hydrodynamiques qui régissent le mouvement de l'eau souterraine contenue, donc en se rèfèrant à la typologie des nappes souterraines, en :

* aquifère libre, c'est à dire à nappe à surface libre, avec une zone non saturée;
* aquifère captif, c'est à dire à nappe captive sans surface libre, ni zone non saturée;
* aquifère perché, superposé à une zone non saturée, à nappe souterraine libre perchée.

- Suivant la structure du système aquifère correspondant, donc celle du modèle conceptuel qui peut schématiser celui-ci, en :
* aquifère monocouche, bi-couche, ou multicouche (ces derniers comportant des composants non aquifères);
* aquifère stratifié (à variations verticales significatives de perméabilité, non schématisable par un monocouche caractérisé par une transmissivité;
* aquifère compartimenté, à cloisons imposant de fortes pertes de charge aux écoulements souterrains intérieurs.

J.Margat.
Oct. 1996

DEBIT (MOYEN) ANNUEL
MODULE

Etymologie,Historique :
Module : Empr.lat. modulus, dimin. de modus "mesure" (cf aussi modèle), employé dans un sens spécial par Vitruve en architecture, d'où le fr. module (XVIè) "unité de mesure adoptée pour déterminer les proportions des diverses parties d'une construction". En dehors d'un emploi général au sens de "étalon, calibre", le mot désigne par anal. en Hydrologie une unité de mesure d'un débit. La première attestation du mot dans les sciences de l'eau date de 1816 (R.PRONY) pour désigner une "nouvelle unité de mesure pour la distribution de l'eau", elle correspondait à un débit de 20 m^3/jour.
A noter que les fontainiers utilisaient autrefois une unité appelée pouce d'eau ou pouce fontainier : "quantité d'eau qui s'écoule par un orifice circulaire d'un pouce de diamètre, percé dans une mince paroi verticale, sous une charge de 7 lignes d'eau à partir du centre de l'orifice " (Péclet, Traité de physique, 1847, t.1, p.170) soit 19,2 mètres cubes par 24 heures. En 1789, le Traité élémentaire de Chimie de Lavoisier comporte une série de Tables (t.II, p.237 à 269) parmi lesquelles une Table du nombre de pouces cubes correspondants à une poids déterminé d'eau..

Débit annuel "Le débit annuel d'un fleuve représente donc annuellement l'excès des eaux pluviales tombées à la surface du bassin drainé par le fleuve sur la quantité d'eau qui s'évapore, sous toutes les formes, à la surface du bassin". (H. Marié-David, Météorologie, Paris, Masson, 1866, p.324)

Débit moyen "Des observations soigneusement relevées ont montré que le débit moyen de la Seine à Paris est de 250 mètres cubes par seconde (75 seulement dans les sécheresses), qu'il est de 694 mètres après que la Seine a absorbé tous ses affluents et qu'elle verse dans la Manche environ 2.500 mètres cubes, 10 fois son débit à Paris" (Th. Huxley, adaptation G.Lamy, Physiographie, Paris, Alcan, 1882, p.3).

Définitions existantes :

G.I.H

- Débit : Volume d'eau qui traverse une section transversale d'un cours d'eau (ou d'un canal) par unité de temps
- Débit mensuel interannuel : Moyenne arithmétique de tous les débits moyens mensuels pour un mois donné au cours de la période des relevés.

Seule la notion de" Module spécifique d'écoulement souterrain" est définie.

Notons que le mot "module" n'a pas d'équivalent hydrologique en anglais.

Dictionnaire de l'eau

- Débit moyen : moyenne arithmétique des débits mesurés en un point donné et pour une période donnée.
- Débit annuel moyen. Syn. de "ruissellement annuel moyen"
- Ruissellement annuel moyen : valeur moyenne du volume annuel d'eau passant dans un cours d'eau, établie d'après les données d'une période d'observation suffisamment longue pour donner une moyenne caractéristique.

Dictionnaire des SDAGE, 1995 :

- Débit annuel (syn. Débit moyen annuel) : Débit moyen sur une année : il est obtenu le plus souvent en additionnant les débits moyens journaliers de l'année et en divisant par le nombre de jours de l'année.

- Module ou module interannuel d'un cours d'eau : Débit moyen pluriannuel en un point d'un cours d'eau. Il est évalué par la moyenne des débits moyens annuels sur une période d'observations suffisamment longue pour être représentative des débits mesurés ou reconstitués.

Pardé M. (1966) -Encyclopédie de la Pléiade:

" L'abondance moyenne annuelle a pour expression le **module** ou moyenne annuelle de tous les débits par seconde"

"Pour apprécier un module il faut en connaitre la valeur globale dans une longue suite d'années, au moins 50 ans si possible"

Pardé M. (1933) - Fleuves et Rivières. A. Colin Ed.

" Ainsi pour la Seine à Paris, le **module ou débit moyen annuel** avoisine 290 m^3/sec. en valeur brute pour 44 000 km^2 soit une valeur spécifique de 6,6 $l.sec.^{-1}/km^2$."

Remarques

Rappelons que le débit est "le volume de fluide écoulé en un point par unité de temps" (Le Nouveau Petit Robert,1994) et qu'en hydrologie "le débit d'un cours d'eau est le volume qui passe pendant l'unité de temps (seconde) par la "section mouillée", c'est à dire par la surface qu'enveloppe le "périmètre mouillé" " (de Martonne, Traité de Géographie physique, 1929).
Par conséquent tout débit d'une durée supérieure à la seconde (débit horaire, journalier, mensuel, annuel...) est nécessairement un "débit moyen" qui est calculé en faisant la moyenne arithmétique des débits au cours de la durée choisie.

Propositions de définitions :

Le débit (moyen) journalier, mensuel, annuel.. est la moyenne arithmétique de tous les débits par seconde de la période considérée. Le débit annuel devra être obligatoirement suivi de l'année considérée.

Le débit (moyen) inter-annuel est la moyenne arithmétique des débits (moyens) annuels calculée sur une période de temps au moins égale à 30 années consécutives.

Le débit (moyen) pluri-annuel est la moyenne arithmétique des débits (moyens) annuels calculée sur une période de temps quelconque (en général la série complète des débits annuels)

On pourra utiliser le terme de "module pluri-annuel" ou "module inter-annuel" dans le même contexte que pour "débit pluri et inter-annuel".

Commentaires

Les débits pour une durée supérieure à la seconde seront toujours suivis de la période sur laquelle ils ont été calculés. De même pour le mot "module" s'il est employé dans le sens de "débit (moyen) annuel".
Ex : débit annuel 1995, débit interannuel (1951-1980), module de l'année 1914, module pluri-annuel (1924-1936, 1944-1962).

L'expression "écoulement moyen" est à proscrire, l'écoulement étant un phénomène hydrologique et non une mesure.

Notons cependant que le mot "module" est parfois employé comme "unité de mesure de débit (de l'eau d'une pompe, d'une fontaine) équivalant à 10 m^3 par 24 h." (Le Robert, 1994).

Nous suggérons donc que "module" soit abandonné pour désigner "débit (moyen) annuel"ou "débit (moyen) interannuel".

J.P.Carbonnel
avril 1996

EAU(X) SALEE(S)

Etymol. et Histoire :

Salé vient du latin sal, salis, "sel" et du latin populaire salare "saler", classique sallire ou sallere, dér. de sal. Adj. ou part.passé adj., il est attesté dès le XIIè siècle (mer salée, chaire salée) dans son sens le plus général : "où la présence de sel fait percevoir par le goût une des saveurs fondamentales" (les autres étant sucré, amer, acide). Cet adjectif ne pouvait suffire aux besoins dès l'instant où les chimistes commençaient à élaborer une théorie des sels, à côté de l'idée commune du sel. D'où l'apparition, à la fin du XVIè, de l'adj. salin (A.Paré) et, au XVIIIè, la notion de subtances salines et de combinaisons salines. Notons que de la même façon, on n'a parlé longtemps que de l'alcool, avant de concevoir la théorie des alcools.

Définitions existantes :

Le Petit Robert : Salé(e), qui contient naturellement du sel
Salinisation : augmentation de la teneur en sel (d'un sol, d'une eau)

G.I.H : Eau salée : eau dans laquelle la concentration en sels est relativement élevée (plus de 10 000 mg/l)
Eau saumâtre : eau dont la teneur en sels est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sels dissous y est généralement comprise entre 1000 et 10 000 mg/l.

Dict. franç. d'hydrogéologie (1977)
Eau salée : eau contenant une quantité sensible, surtout du point de vue de la potabilité, de sels dissous, plus particulièrement de chlorure de sodium par opposition à une eau douce. Sa concentration minimale en matières dissoutes peut être fixée conventionnellement en général à 1000 ppm. Les eaux salées comprennent les eaux saumâtres, les eaux salines, les eaux sursalées.

Définition proposée :

Eau salée : Qualitativement, une eau salée à un goût appréciable de "sel"; il lui correspond le terme "salure". Quantitativement, par convention, une eau salée contient plus de 10 g/l de sels dissous; en dessous, on parlera d'eau saumâtre.

Commentaires :

- On distingue "sel" au sens courant (NaCl est l'espèce largement dominante) et "sels", constituants de la "salinité".

- Toutes les eaux souterraines contiennent des substances dissoutes essentiellement sous forme ionique. Celles-ci proviennent de la dissolution des minéraux des roches encaissantes ou des produits de leur altération par l'eau, des apports par les précipitations et les activités humaines (rejets urbains, industriels et agricoles). Cependant la source la plus importante de substances dissoutes est la dissolution des calcaires, du gypse et des autres évaporites. Les roches silicatées n'apportent guère que du sodium, du potassium et des éléments rares (traces).
- Les eaux très profondes sont très généralement chargées en sels, car la températuire augmente la solubilité de nombreuses substances.
- Il n'y a pas de définition précise des eaux salées ; les eaux convenant à la consommation humaine contiennent de 0,05 à 1 g de substances dissoutes par litre. Trois g/l parait être une limite à ne pas dépasser longtemps.
- La nature chimique de ces substances peut être très variable mais le mélange complexe obéit à des lois aujourd'hui bien connues (voir hydrochimie). Les critères d'emploi des eaux salées (consommation humaine ou animale, pisciculture, industries, irrigation, loisirs) sont définis par des normes variées selon les cas (voir normes). Toutefois les circonstances locales imposent souvent de larges écarts à ces normes.
- La salinité des eaux est mesurée par :
  + son analyse chimique (anions, cations);
  + son "résidu sec" déterminé par évaporation à 105°C;
  + sa conductivité électrique exprimée en microsiemens; celle-ci donne de bons renseignements sur l'évolution temporelle d'une eau, les dilutions, etc...

  Elle est exprimée en grammes de substances dissoutes par litre, parfois en degré Beaumé (densité) et souvent en chlorinité (g de Chlore-Chlorure par 1) quand elle se réfère à l'eau de mer.
- 80 à 90% des eaux souterraines sont salées (sup. 1g/l). La plupart des eaux de surface le sont aussi dans les régions arides.
- Composition chimique des eaux salées :

Elles ne diffèrent pas qualitativement des eaux dites de boisson, et ne s'en distinguent que par la concentration plus élevée des sels dissous. Ceux-ci sont majoritairement :
- pour les anions : Cl_-, SO^4, $_2{}_-HCO$
- pour les cations : NA_+, K_+, Ca_{2+}, Mg_{2+}

Les autres ions sont, dans la très grande majorité des cas, pour des raisons de produits de solubilité, ou parce qu'ils sont naturellement très rares, à des teneurs inférieures à quelques mg/l.
- La concentration augmentant (apports nouveaux et/ou évaporation), les sels se déposent à nouveau selon une séquence qui est le plus souvent la suivante : carbonate de calcium, gypse, halite. Au delà d'une certaine concentration, les séquences de précipitation sont étroitement dépendantes de la teneur relative des ions.
- Outre le problème de tolérance des êtres vivants aux eaux salées, celles-ci sont nuisibles aux canalisations métalliques (corrosion et colmatage) et aux bétons (destruction et fragilisation), enfin à la conservation des sols (voir salinistaion). Voir normes.

R.Letolle
nov.1996

ESPACE DE LIBERTE (d'un cours d'eau)

Référence

Cette notion est apparue en 1990 aux Assises nationales de l'eau (Protection des milieux naturels aquatiques, Ministère de l'environnement, 1990); elle a été reprise par le groupe de travail "Protection et gestion des plaines alluviales" de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (1996) qui lui donne la définition suivante: "Espace du lit majeur à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales pour permettre une mobilisation des sédiments ainsi que le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et terrestres" (H.Piegay et al., - Comment delimiter l'espace de liberté des rivières?, SHF, 24è Journ. de l'Hydraulique, sept. 1996).

Définition proposée

Espace du lit majeur d'une rivière à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales permettant une mobilisation des sédiments ainsi qu'un fonctionnement optimum des écosystèmes aquatiques et terrestres.

Commentaires

- Ce concept est très récent et sera donc certainement affiné dans un avenir proche.

- La notion d'"espace de liberté" est au départ liée aux problèmes de l'érosion des berges et de leur protection systématique dans le cadre de la gestion des cours d'eau.

- Cet "espace de liberté" qui est en passe de faire l'objet de réglementation n'est pas de même nature suivant le type de cours d'eau ; deux "styles fluviaux" principaux sont pris en compte : "les rivières à chenaux uniques et sinueux" et les "rivières en "tresses"".

- Fondé sur une cartographie fluviale particulière, les "espaces de liberté" sont caractérisés par : un "espace de liberté potentiel", une sectorisation longitudinale et un zonage des secteurs les plus instables.

Ainsi cet "espace d'expansion" est défini par deux concepts: un concept **morphologique** (divagation maximale théorique du cours d'eau) et un concept de **gestion** qui dérive du précedent et qui permet de définir "l'espace minimal à préserver pour permettre au cours d'eau de conserver son potentiel d'ajustement en plan et en long en fonction de l'évolution" des débits liquides et des débits solides (J.R. Malavoi et Y.Souchon - Dynamique fluviale et dynamique écologique, La Houille Blanche, 1996, n°6/7, 98-107).

- En France, les principales rivières concernées sont celles du Sud-Est, celles du Nord des Alpes, les affluents du Rhône et de la Durance ainsi que La loire.

J.P.Carbonnel
déc.1996

ETIAGE

Etymologie et Histoire: Le mot serait dérivé de "étier", terme dialectal de l'Ouest qui désignait un chenal reliant la mer et le marais salant (le remplissant à marée haute et le vidant à marée basse).
De même origine que estuaire, empr. lat. aestuarium, de aestus au sens de "marée" (estuaire désignait à l'origine une échancrure côtière envahie par la mer à marée haute). L'etiage était donc assimilé à l'état d'un etier après retrait des eaux. Etiage est attesté en 1780.

Définitions existantes :

Grand Robert : Baisse périodique des eaux d'un cours d'eau. Le plus bas niveau des eaux atteint au cours de cette baisse.

Dict. franç. d'Hydrologie de Surface (M.F.Roche, 1986) : Niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau, en un point donné. Aussi utilisé, abusivement, dans le sens de "basses eaux".

Larousse Encyclopédique : 1. Niveau moyen le plus bas d'un cours d'eau en un point donné, qui est parfois marqué par un zéro, point de départ pour mesurer la hauteur des eaux au dessus de ce point au moyen de chiffres écrits sur une échelle. 2. Abaissement exceptionnel du débit d'un cours d'eau. Le terme de "basses eaux" ou "maigres" désigne un abaissement plus normal et plus fréquent.

G.I.H. : 1. Niveau le plus bas atteint par une marée descendante.
2. Plus bas niveau atteint par un cours d'eau ou un lac.

Définition proposée

Débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, qu'il ne faut pas confondre avec les basses eaux saisonnières habituelles , même s'il en est l'exacerbation.
La définition statistique la plus usuelle est le débit caractéristique d'étiage (DCE) calculé sur une longue série (plusieurs années) de débits journaliers classés, débit au dessous duquel l'écoulement descend dix jours par an.

Commentaires

- Les étiages, c'est à dire les débits exceptionnellement faibles des cours d'eau, sont dus à des sécheresses prolongées qu'aggravent des températures élevées. Les cours d'eau, en l'absence de pluie, étant uniquement alimentés par

les eaux souterraines, un appauvrissement des nappes au cours des années ou saisons précédentes, contribue aussi à la faiblesse des débits ainsi que les prélèvements d'eau, précisément multipliés en ces périodes critiques.

- Les étiages s'établissent lentement. Au dessous de débits déjà très bas, la décroissance semble se faire, sur un même cours d'eau, à un rythme correspondant aux caractères hydrologiques du bassin. La courbe de tarissement a une pente d'autant plus forte que sont plus faibles les réserves en eau souterraines; les débits caractéristiques d'étiage, par unité de surface, présentent des minimums très différents selon les cours d'eau : moins de 0,5 $l/s/km^2$ sur la Seine ou la Moselle, par exemple, 4 ou 5 $l/s/km^2$ dans des bassins où la fusion nivale alimente des réserves souterraines abondantes.

M.Dacharry
dec.1996

EUTROPHISATION

Etymologie et histoire :
Dérivé de eutrophe (peu usité), empr. grec eutrophos,"bien nourri, nourrissant", du préfixe eu- "bien, dans de bonnes conditions" et de trophê, "nourriture" (cf. atrophie, hypertrophie...) L'eutrophisation, (mot attesté vers 1970) est donc le processus par lequel une étendue d'eau devient eutrophe et le résultat de ce processus.

Le mot "eutrophication" a été employé jusqu'en 1987 (voir déf. existantes) en même temps que "eutrophisation".

Définitions existantes:

Le Robert (1994): Accumulation graduelle de débris organiques dans les eaux stagnantes, due à l'activité métabolique des organismes qui les habitent, provoquant la prolifération excessive de végétaux aquatiques et l'appauvrissement en oxygène des eaux profondes.

Petit Larousse (1987) : Eutrophication: évolution biochimique des eaux où sont déversés trop de déchets industriels nutritifs, ce qui perturbe leur équilibre biologique par diminution de l'oxygène dissous.
Eutrophisation: évolution naturelle des eaux semblable à l'eutrophication mais plus limitéé.

G.I.H (1992) : Enrichissement de l'eau par des nutriments, en particulier par des composés d'azote et de phosphore, qui accéléreront la croissance d'algues et de formes plus évoluées de la vie végétative.

Dict. Encyclop. de l'Ecologie (1993) : phénomène d'enrichissement des eaux continentales ou littorales en sels minéraux nutritifs (phosphates, nitrates) résultant de causes naturelles.

O.C.D.E (1982) : Phénomène caractérisé par une prolifération excessive d'algues et de plantes aquatiques due à une surcharge d'éléments nutritifs dans les eaux (phosphore en particulier).

Définition proposée:

Ensemble de processus bio-géochimiques lié à un enrichissement des eaux en éléments nutritifs. Cet enrichissement se traduit par l'accroissement des biomasses végétales et animales conduisant à l'appauvrissement critique des eaux en oxygène.

Commentaires:
- Les définitions du Robert et du Petit Larousse sont inexactes et ne doivent pas être retenues: - débris organiques et déchets industriels nutritifs ne sont pas seuls en cause (trop limitatifs, - l'eutrophisation concerne aussi les eaux courantes, - eutrophication, terme anglais, est synonyme d'eutrophisation et la distinction, obsolète.

- A l'origine, l'eutrophisation est un phénomène naturel d'enrichissement des eaux en sels nutritifs (nutriments): le statut trophique d'un lac évoluant progressivement selon un gradient de trophie (voir typologie). Aux apports naturels se sont ajoutés les apports anthropiques dont l'augmentation rapide récente a fortement contribué à amplifier ce phénomène.
L'accroissement des apports, en particulier en phosphore, facteur limitant le plus fréquent dans les lacs, a conduit à une eutrophisation accélérée qui se caractérise par une forte prolifération végétale (planctonique et littorale). Cette biomasse, composée en majeure partie d'éléments de grande taille peu consommables (algues coloniales ou filamenteuses parfois toxique, Cyanobactéries) n'est que partiellement recyclable via le réseau trophique : une grande partie va sédimenter.
L'augmentation de la matière organique sédimentée favorise la croissance des bactéries hétérotrophes qui consomment de l'oxygène en dégradant les composés organiques. Une charge excessive et une température élevée (durant l'été en région tempérée) aboutissent à une désoxygénation des eaux profondes et à une minéralisation partielle des substances organiques. La durée et l'épaisseur de la couche anoxique dépend de la charge organique et de la température (agissant sur le métabolisme bactérien). Si la couche anoxique est assez épaisse, la désoxygénation conduit à une crise de fonctionnement, ou dystrophie, caractérisée par la production de méthane et d'hydrogène sulfuré avec prolifération de bactéries phototropes anoxygéniques ("malaigues" des lagunes méditerranéennes). En outre , une forte sédimentation des particules accélére le comblement des lacs.
L'arrêt ou la réduction des apports anthropiques stoppe ou ralentit le processus d'eutrophisation. Le phénomène est cependant irréversible tant que perdure la couche de sédiment où le phosphore est piégé.

- C'est l'ensemble de ces processus qui constitue le phénomène d'eutrophisation et non la seule prolifération végétale qui n'en est que l'expression la plus visible.

- Le mot "nutrient", terme anglais, souvent employé en français est impropre, on doit utiliser le mot "nutriment".

Typologie:

Statut trophique : ultra-oligotrophie, oligotrophie, mesotrophie, eutrophie, hyper-eutrophie.
Ultra-oligotrophie : eaux très pauves en nutriments et donc peu productives
Hyper-eutrophie : eaux très chargées en nutriments et très productives avec risque de dystrophie.
Valeurs limites, un peu arbitraires, des teneurs moyennes en phosphore proposées par l'OCDE respectivement pour les 5 catégories citées ci-avant : 0-4, 4-10, 10-35, 35-100, plus de 100 µg/l.

R.Pourriot
nov.1996

HYDROSYSTEME

Etymologie et Histoire :
La notion et le terme d'hydrosystème appliqués au bassin versant ont commencé à être utilisés dans les années 60 par les morphologues (CHORLEY,1962) et les hydrologues (notamment V.T.CHOW, 1965) anglo-saxons. L'approche systémique s'est généralisée dans les années 70 et le terme s'est imposé à la fin des années 80.

Définitions existantes

A noter que le terme hydrosystème ne figure ni dans le Larousse ni dans le Robert, ni dans le Trésor de la Langue Française.

Le DFHS (F.Roche, 1986) donne la définition suivante pour système d'eau : "tout ensemble hydrologique comportant ou non des aménagements : le réseau hydrographique d'un bassin en est un exemple. On dit aussi "système hydrologique" ".

Glossaire SDAGE (Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 1995) :
Composantes d'un hydrosystème: " L'hydrosystème comprend une composante atmosphérique (vapeur d'eau, précipitations solides et liquides), une composante superficielle, le bassin versant et les milieux aquatiques superficiels (cours d'eau, plans d'eau, voies d'eau, zones humides, sédiments et matières en suspension incluses) et une composante souterraine (sols, sous-sol, aquifères, cours d'eau souterrains, réseaux souterrains...).

Glossaire National des SDAGE, O.I.E.,1995:
Hydrosystème : "Système composé de l'eau et des milieux aquatiques associés dans un secteur géographique délimité, notamment un bassin versant. Le concept d'hydrosystème insiste sur la notion de système et sur son fonctionnement hydraulique et biologique qui peuvent être modifiés par les actions de l'homme.
Un hydrosystème peut comprendre un écosystème ou plusieurs écosystèmes".

Définition proposée

Portion de l'espace où, dans les trois dimensions, sont superposés les milieux de l'atmosphère, de la surface du sol et du sous-sol, à travers lesquels les flux hydriques sont soumis à des modes particuliers de circulation. L'hydrosystème est le siège, sous l'effet de l'eau, de transformations car, en toutes ses phases, le cycle de l'eau a d'étroits rapports avec d'autres cycles physiques, géochimiques et biologiques de l'environnement terrestre.

(réf. Encyclopédie AXIS, 1993/M.DACHARRY)

Commentaires

- Le mot hydrosystème est souvent accompagné d'adjectifs qui caractérisent l'espace étudié et ses conditions aux limites (ex: hydrosystème fluvial, hydrosystème anthropisé, hydrosystème dunaire...)

- L'hydrosystème est principalement alimenté par les précipitations ; l'eau qui n'a pas été consommée, qui ne s'est pas évaporée ou qui ne reste pas captive dans les réserves souterraines, sort de l'hydrosystème, plus ou moins abondante, plus ou moins chargée de matières diverses qu'elle entraine en solution et en suspension.

- Dans une vue simplificatrice, l'hydrosystème - quelle que soit la taille (de quelques hectares à plusieurs milliers de km^2) - est composé d'un ensemble de réservoirs entre lesquels se produisent des flux. Ses éléments ou sous-systèmes sont l'atmosphère, la couverture végétale, la surface du sol avec toutes ses caractéristiques morphologiques, hydrologiques et pédologiques, les réserves en eau du sol dans la zone aérée, dans les nappes libres, dans les aquifères profonds.

- L'approche systèmique en hydrologie présente plusieurs avantages: 1) Elle met l'accent sur les processus, sur les modes de circulation de l'eau, sur les phénomènes d'interfaces.

2) Elle prend en compte la globalité et la spécificité d'un espace géographique en intégrant toutes les interférences, y compris les influences humaines.

3) Surtout, bénéficiant de l'amélioration des techniques de mesure, elle se prête à la modélisation mathématique au moment où l'outil informatique se vulgarise.

M.Dacharry
nov.1996

IRRIGATION

Etymol. et Histoire :
Irriguer et irrigation sont empruntés au latin irrigare et irrigatio, qui expriment l'action de "faire couler dans une certaine direction (un liquide, une sorte de courant)", d'où "arroser, baigner (un lieu, un objet)" dérivés du verbe rigare, à peu près de même sens. Ces mots figurent dans divers traités d'agriculture, notamment de Caton et de Varron. En français, irriguer est attesté en 1505, et irrigation en 1507, mais il s'agit d'emplois isolés, et ils ne se sont guère imposés avant la seconde moitié du XVIIIè siècle.

Définitions existantes :

Le Petit Robert : Arrosement artificiel des terres en déviant les eaux douces (» arrosage)

G.I.H : Apport artificiel d'eau sur des terres à des fins agricoles

Dict. de l'eau (1981) : Arrosement artificiel des terres pour les besoins agricoles. Aussi : irrigation à débit constant - irrigation d'appoint - irrigation par aspersion - irrigation par l'eau souterraine - irrigation par rigoles d'infiltration - irrigation souterraine -

Définition proposée :

Apport artificiel d'eau sur des terres à des fins agricoles.

Commentaires :

- Primitivement, détournement de cours d'eau naturels, pérennes ou non, pour l'arrosage des cultures; attesté dès l'époque néolithique dans les régions subarides et arides. Très rapidement, l'homme sut aménager les cours d'eau pour ses besoins : dérivations, stockage dans méandres abandonnés, puis constructions de canaux et barrages (3è mill. avant notre ére), création de réseaux primaires et secondaires, relèvement de l'eau par différents systèmes (la noria ou son équivalent est attesté dès le Vè s., époque où les systèmes d'irrigation ont atteint un haut degré de technicité). En même temps des régles de distribution précises se sont élaborées, aboutissant à des structures politiques entièrement dépendantes de l'irrigation (Chine, Inde, Péninsule arabique, Mésopotamie, Turkestan, Iran, Amérique Centrale, Afrique préromaine). Aujourd'hui 1/6ème des terres cultivées sont irriguées et, grâce à cette irrigation produisent près du tiers de la production agricole mondiale.

- Les modalités de l'irrigation sont fonction d'une part du type de développement socio-économique et d'autre part de la pédologie, de la topographie, du climat, de la qualité

chimique de l'eau (salinisation) et de la nature des cultures qui dépend fortement de ces facteurs. A l'irrigation de surface (rigoles ou ennoiement, aujourd'hui "goutte à goutte"), s'ajoute désormais quelque fois l'irrigation souterraine ainsi que l'utilisation sous différentes formes d'eaux usées plus ou moins pré-traitées.

- L'irrigation peut être complétée par le drainage (naturel ou artificiel), qui évacue les excés d'eau et limite le risque de concentration de sels dans les sols (voir salinisation).

Typologie :

Les techniques d'irrigation sont diverses. On distingue :

- l'irrigation gravitaire, de surface ou souterraine (par conduits poreux ou perforés)
- l'irrigation par aspersion ("sprinklers")
- l'irrigation par submersion
- l'irrigation localisée et micro-irrigation (système du "goutte à goutte")

R.Letolle
nov.1996

LAC

Etymologie et Histoire : du latin lacus; a remplacé en 1175 (Chr. de Troyes) la forme populaire lai.

Définitions existantes:

Le Robert : grande nappe naturelle d'eau douce ou (plus rarement) salée à l'intérieur des terres

G.I.H. : Etendue notable d'eau de surface, à l'intérieur des terres.

Dictionnaire Encyclopédique de l'Ecologie (F.Ramade, 1993): Type d'écosystème dulçaquicole caractérisé par des eaux calmes (lentiques au renouvellement lent).

Limnologie Générale (Pourriot & Meybeck, 1995) : Etendue d'eau libre stagnante remplissant une dépression d'origine naturelle (ou non), sans contact direct avec les océans

Définition proposée

Volume d'eau libre superficiel remplissant une dépression naturelle ou artificielle, sans connexion directe avec les océans et dans lequel le déplacement de l'eau n'est pas unidimensionnel.

Commentaires

- La salinité n'est pas un critère de différenciation lacs-océans.
- Les qualificatifs "calmes" ou "stagnante" ne sont pas adéquats et le caractère faiblement courant est mieux exprimé par les termes "au renouvellement lent" ou "aux mouvements des eaux non unidirectionnels".
- Les réservoirs artificiels sont assimilables aux lacs (lacs de barrage).
- En limnologie les critères de dimensions (superficie, profondeur) n'entrent pas dans la définition d'un lac
- Le terme "étang" (du vieux français de langue d'Oc, estanc) recouvre souvent celui de lac dans diverses régions, tels par exemple les étangs landais (Aquitaine) qui sont, en fait, des lacs côtiers ou les étangs méditerrannéens en relation avec la mer (étangs de Thau, de Berre) qui sont des lagunes. Pour éviter toute confusion, le terme d'étang devrait être limité aux plans d'eau artificiels peu profonds (moins de 2 mètres), vidangeables donc sans stratification thermique et/ou chimique permanente, où les macrophytes peuvent se développer; ces étangs sont généralement à usage piscicole.

- Les lacs se distinguent des fleuves par - 1) l'absence de gradient gravitaire, - 2) l'existence d'une stratification physique et chimique verticale.

- En milieu karstique, des lacs souterrains peuvent exister.

Le terme de lac regroupe des plans d'eau très variés par leur origine et leurs dimensions mais qui sont tous régis par les mêmes processus.

Typologie

Les lacs peuvent être classés en fonction de critères variés:
- leur origine : tectonique, glaciaire, volcanique, sédimentaire, fluviale, cotière,
- leur zonation thermique verticale : les lacs profonds se distinguent des lacs plats par une zonation thermique saisonnière stable (elle n'est que temporaire, à l'échelle de la journée ou de la semaine dans les lacs plats à faible inertie) : lacs holomictiques vs lacs meromictiques, monomictiques (froids ou chauds), dimictiques, amictiques, polymictiques (froids ou chauds),
- leur statut trophique (quantité de matière organique produite en fonction des apports en azote et phosphore) : oligotrophie, mesotrophie, eutrophie.

R.Pourriot
nov.1996

NAPPE (SOUTERRAINE)

Etymologie et histoire :
Nappe: du latin mappa, serviette, linge de table, devenu nappe par dissimilation de m devant p.
Extension métaphorique à la désignation d'un corps plan, étendu et continu, notamment dans la nature ("nappe de brouillard"). D'où "nappe d'eau", le plus souvent horizontale et superficielle (cf. "plan d'eau") mais non exclusivement : nappe d'eau déversante en hydraulique, nappe d'une cascade (" Les plus hautes cascades déroulent...leur nappe de cristal", M. Proust, Rech.T.P.,, VI); en particulier "nappe d'eau souterraine" (à rapprocher de la désignation par nappe d'autres gisements de fluides souterrains: "nappe de pétrole").

Définitions existantes (de "nappe d'eau")

LITTRE : "Nappe d'eau : une grande étendue d'eau, tranquille comme celle d'un étang".
Le ROBERT : "Nappe d'eau : terme général désignant toutes les eaux stagnantes (lac, étang, marais,etc..).

Origine

Nappe d'eau souterraine, Héricart de Thury, 1829
Nappe, Arago, 1834
"La nappe d'eau, gisante à une assez grande profondeur souterraine,...est fournie par la couche de grès vert" (Victor Hugo, Les Misérables, 1862, V,II,VI).

Définition proposée

Nappe d'eau souterraine, nappe souterraine ou nappe (pris absolument en hydrogéologie):

Ensemble de l'eau présente dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

Dans un sens restreint, s'applique plus particulièrement à un aquifère continu.

Concept indéfini ou défini:
* **La** nappe, en général, est associée dans un schéma unidimensionnel à la zone saturée de tout aquifère, distinguée de l'eau de la zone non saturée sus-jacente d'un aquifère à nappe libre.

* **Une** nappe identifiée et individualisée, associée à un aquifère défini, est généralement désignée par la dénomination géologique ou géographique de l'aquifère considéré: la nappe des Sables Verts, la nappe du Dogger, la nappe du Soissonnais.

Equivalences impropres

* A proscrire : nappe aquifère où "aquifère" est pris improprement au sens "d'eau souterraine".

* Ne pas employer dans le sens général de nappe d'eau souterraine "nappe phréatique" qui désigne un type de nappe (cf. typologie ci après).

Commentaires

* En hydrogéologie nappe est une spécialisation de l'expression nappe d'eau appliquée conceptuellement aux eaux souterraines qui ne sont pas directement observables.

* Le concept de nappe d'eau souterraine étant fortement lié à l'idée de continuité, il est généralement associé à ceux de surface de la zone saturée d'un aquifère (ou "surface libre") ou de surface piézomètrique (champ de potentiels hydrauliques) et à la possibilité de la représenter. Cela exclut son application aux eaux des aquifères discontinus, notamment karstiques (en pratique tous ceux où une surface piézomètrique est peu significative et difficile à représenter comme un champ de potentiels continus).
"Il faut absolument limiter l'idée de nappe d'eau aux terrains meubles, fragmentaires, incohérents, détritiques, où il y a réellement imbibition de toute la masse.." (E.A Martel, 1921).
Toutefois les expressions "nappe de fissures" ou "nappe en réseau" sont parfois employées (Schoeller, 1962).

* L'étroite correspondance créée par l'usage entre les concepts de nappe d'eau souterraine et d'aquifère exclut en pratique que l'on désigne par nappe les eaux des corps de roches semi-perméables saturés. Celles-ci n'en sont cependant pas moins soumises à l'hydrodynamisme et comportent également une surface piézomètrique, libre ou non.

Typologie

Une nappe souterraine peut recevoir divers qualificatifs relatifs à son gisement (nature de l'aquifère), à ses conditions hydrodynamiques, à son accessibilité ou à des caractéristiques de l'eau qui correspondent à autant de classifications :

* Suivant la nature de l'aquifère:
  + nappe alluviale
  + nappe dunaire
  + nappe de la craie
  + nappe des "Sables verts"
  + nappe "infra-mollassique"
  etc....

* Suivant les conditions hydrodynamiques :

+ nappe libre : nappe à surface piézomètrique libre et variable, dans un aquifère à zone non saturée

+ nappe perchée : nappe libre dans un aquifère surmontant une zone non saturée

+ nappe captive : nappe sans surface piézomètrique libre, dans un aquifère entièrement saturé sous couverture de faible perméabilité

+ nappe artésienne : nappe captive à surface piézomètrique supérieure à la surface du sol

* Suivant la structure hydrogéologique et les conditions aux limites (d'après la classification des nappes libres de H.Schoeller, 1962):

+ nappe de débordement: nappe libre non soutenue , limitée par le bord de la couverture de l'aquifère, généralement en continuité avec une nappe captive.

+ nappe de déversement : nappe libre non soutenue, limitée par l'affleurement du substratum de l'aquifère, sans réserve significative au dessous du niveau des exutoires.

+ nappe de trop-plein : nappe libre non soutenue, limitée par l'affleurement du substratum de l'aquifère, avec réserve significative au dessous du niveau des exutoires.

+ nappe soutenue : nappe libre, en général, dans un aquifère à limite à condition de potentiel (cours d'eau ou plan d'eau superficiel).

+ nappe sous-fluviale (G.Castany, 1963) : nappe alluviale de fond de vallée en liaison hydraulique ou non avec un cours d'eau (syn.: "inféro-flux", Savornin, 1947)

* Suivant l'accessibilité:

+ nappe phréatique, du grec phreas, puits (Daubrée, 1887), nappe souterraine atteinte et exploitable par les puits ordinaires.

+ nappe profonde, atteinte et exploitable par forage, au delà d'une profondeur conventionnelle.

* Suivant les caractéristiques de l'eau :

+ nappe salée

+ nappe thermale.

J.Margat
nov. 1996

PLUIE ou PRECIPITATION EFFICACE (ou UTILE)

Ces expressions, usitées généralement au pluriel, ont deux acceptions différentes, suivant le sujet auquel est rapportée l'efficacité ou l'utilité alléguées : l'écoulement, en hydrologie, la consommation par les plantes cultivées, en agriculture.

SENS 1, hydrologique

Définitions existantes :

"Les précipitations efficaces représentent la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible, à la surface du sol, après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle", " Les précipitations efficaces sont égales à la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle" (G.Castany, 1982).

Seule "pluie efficace" est mentionnée dans le G.I.H (1992) : "Partie de la pluie qui contribue au ruissellement. Dans certaines applications, le ruissellement retardé est complétement exclu du ruissellement pur, et la pluie efficace est égale à la pluie excédentaire".

Définition proposée

Fraction des précipitations génératrice d'écoulement, immédiat ou différé, superficiel ou souterrain.

Comme les précipitations totales, elle s'exprime en hauteur (mm) rapportée à une unité de temps.

Commentaires

Le concept de "précipitation efficace" est appliqué surtout en modélisation des relations précipitations/écoulement, avec le sens d'un potentiel, d'une "fonction de production" calculée : la part des précipitations non reprise par évaporation pendant la durée de référence du bilan d'eau considéré (donc relative à cette durée: d'un "pas de temps" de calcul à une séquence pluri-annuelle). Ce concept n'équivaut, en quantité, à un écoulement réel qu'en référence à un système sans autre apport que les précipitations et à une période assez longue pour que le solde des variations de stock soit nul ou négligeable; il est alors complémentaire du "déficit d'écoulement" ayant les mêmes références spatio-temporelles.

A l'instar des précipitations totales mesurées, les hauteurs de précipitations efficaces (moyennes inter-annuelles) cal-

culées, sur la base des données mesurées aux stations climatologiques, considérées comme une variable régionale continue, peuvent faire l'objet d'une cartographie (par lignes d'isovaleurs, - "isohyètes efficaces" - ou discrétisée par maille). Celle-ci représente en théorie la distribution des hauteurs d'écoulement potentiel local (en pratique pour des aires de référence élémentaire d'ordre kilomètrique).

SENS 2, agronomique

Références

"La partie résiduelle de l'eau de pluie, stockée dans la zone radiculaire et qui peut être utilisée par la plante s'appelle pluie efficace".
"La pluie efficace est la pluie totale moins le ruissellement, moins l'évaporation et moins la percolation profonde.. Le terme "pluie efficace" définit donc la fraction de l'eau des précipitations qui répond aux besoins en eau des cultures". (F.A.O., Les besoins en eaux d'irrigation. par C. Brouwer et M. Heibloem, Gestion des eaux en irrigation, Manuel de Formation, n°3, Edit. française, Rome, 1987).

cf. aussi in " L'eau et la production agricole" (INRA, 1979): "Le partage de l'eau des précipitations entre l'infiltration et le ruissellement....conditionne l'efficacité des pluies pour la plante, efficacité d'autant plus élevée que les possibilités de stockage dans la zone des racines sont plus importantes et que les précipitations sont plus fréquentes".

Remarque

Cette conception conduit à considérer comme pertes les eaux évaporées, ruisselées ou infiltrées en profondeur (notamment jusqu'à la zone saturée d'un aquifère : "Si la pluie est importante, une relativement grande partie de l'eau est perdue par percolation profonde et par ruissellement". (loc.cit.ibid.)

Définition proposée

Fraction des précipitations qui contribue à reconstituer la réserve du sol en eau utilisable par les plantes cultivées.

Elle s'exprime également en hauteur (mmm) rapportée à une unité de temps.

Commentaire

La pluie "efficace" dans ce sens est précisement, en partie, celle qui ne l'est pas dans le sens 1. C'est l'eau vouée à la consommation par transpiration des cultures.

Observation générale

Les significations non seulement différentes, mais en grande partie contradictoires, données à cette dénomination dans l'analyse du "partage" des précipitations suggèrent de préconiser l'abandon d'une expression par trop ambivalente - même si le contexte lève généralement le doute - et de s'en tenir à des descripteurs phénoménologiques sans qualificatif finalisé.

J.Margat
nov.1996

PRECIPITATIONS

Histoire et étymologie . Empr. lat. praecipitatio "chute", de praecipito intr."tomber (la tête la première, praeceps)". XVIè "chute, action de précipiter d'un lieu élevé". 1663, t. de Chimie (postérieurement à précipité, 1553). Par anal. 1835, précipitation d'eau; t. de Météor.1843 ("...lorsque la vapeur d'eau est précipitée dans l'atmosphère...cette précipitation aqueuse prend le nom de brouillard quand elle est à la surface de la terre...", Ch. Martins, trad. des Vorlesungen über Meteorologie de Kaemtz, 1840, p.107). A noter que dans cet ouvrage précipitation est en concurrence avec précipité (...ces précipités atmosphériques...p. 103).

Définitions existantes

Le Robert
- Chimie: phénomène physique ou chimique à la suite duquel un corps solide insoluble (précipité) prend naissance dans une phase liquide (floculation).
- au pluriel : précipitations atmosphériques ou précipitations: chute d'eau provenant de l'atmosphère sous forme de précipitations liquides (pluie, brouillard), solides (neige, grêle). Abondance des précipitations▸pluviométrie.

G.H.I
Produits, sous forme liquide ou solide, de la condensation de la vapeur d'eau, tombant des nuages ou déposés par l'air humide sur le sol.

Définition proposée

Du point de vue hydrologique les précipitations sont les apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Elles constituent l'unique alimentation de la partie terrestre du cycle de l'eau.

Les diverses formes de précipitations proviennent habituellement des nuages qui sont formés de microgouttelettes d'eau issues de la condensation de vapeur d'eau atmosphérique. Un nuage reste stable tant que ces gouttelettes, dont la densité est de quelques dizaines par centimètre cube, restent en équilibre avec la vapeur d'eau environnante. Il n'y a précipitation que lorsque le diamètre des goutelettes devient suffisant pour qu'elles acquièrent une vitesse de chute significative. Les mécanismes permettant aux gouttelettes de grossir dans une proportion de 1 à 10 ou 100 pour les diamètres (soit de 1 à 1000 ou 100000 en masse) ont été élucidés par Bergeron, Dessens et Langmuir à partir des années trente. Ils font appel à des noyaux de condensation (particules de glace, noyaux de chlorure de sodium ou poussières) qui, lorsque les conditions deviennent favorables, concentrent très rapidement de l'eau du nuage au

terme d'une véritable distillation. Des mécanismes mécaniques de capture de gouttes peuvent alors amplifier le phénomène de croissance des gouttes de pluie. La gamme des diamètres des gouttes de pluie (spectre) atteignant le sol va de quelques dixièmes de millimètres à un maximum de 4 à 5 millimètres.

Mesure des précipitations :

Le **pluviomètre**, que l'on a jadis aussi appelé ombromètre, hyétomètre et même udomètre, est un récipient fixé sur un support, et dont l'ouverture placée horizontalement et limitée par un bord effilé détermine très précisément une surface réceptrice (généralement 400 cm^2). La hauteur d'eau de pluie recueillie par cet appareil est mesurée manuellement à des intervalles de temps réguliers (en général 24 heures), les résultats étant exprimés en dixièmes de millimètres (un millimètre de pluie est l'équivalent d'un litre par mètre carré).

Les **pluviographes**, dont il existe de très nombreux modèles, permettent de mesurer la hauteur des précipitations sur des intervalles de temps, réguliers ou non, beaucoup plus courts et font appel à un dispositif enregistreur graphique ou digital. Le **radar météorologique** utilise la réflexion par les hydrométéores (en particulier les gouttes de pluie) d'ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde vont de 5 à 10 cm et permet d'atteindre, à un instant donné, une carte des réflexivités très liée à celle de l'intensité des précipitations. Le **disdromètre et les spectropluviomètres** permettent par ailleurs d'atteindre les caractéristiques des gouttes d'eau (singulièrement leur diamètre), indispensables à la calibration des radars. Un important effort de recherche est enfin mené pour estimer les précipitations à partir d'**images satellitaires** (visible, infra-rouge, micro-ondes). Ces différentes mesures sont intimement liées à une échelle de temps et/ou d'espace et leurs résultats ne sont pas immédiatement comparables en raison de l'intermittence et de la variabilité des champs précipitants et c'est plutôt de leur combinaison qu'il faut attendre une amélioration de l'estimation des précipitations à toutes les échelles intéressant l'hydrologie.

En tant qu'activité métrologique, la pluviométrie consiste **toujours** à mesurer une hauteur de précipitations pendant un intervalle de temps, c'est à dire qu'elle ne permet d'atteindre qu'une **intensité moyenne** des précipitations au cours de l'intervalle de temps considéré. On a cependant coutume d'exprimer les précipitations journalières, mensuelles ou annuelles en termes absolus (mm), réservant généralement l'expression en intensité (mm/h) à des intervalles de temps plus courts. L'usage a également consacré la pluviométrie comme l'étude de la répartition et du régime des précipitations.

Le terme pluviosité (de Martonne,1909), peu usité, désigne le caractère plus ou moins pluvieux d'une période ou d'une région. On désigne parfois comme la pluviosité d'une année donnée en un lieu donné le rapport des précipitations de

cette année à la moyenne interannuelle des précipitations de ce lieu (Angot).

Typologie :

précipitations liquides : pluie, bruine, crachin, ondée, averse, grain, orage, cataracte, déluge, trombe, serein (pluie sans nuage)

précipitations solides : neige, grêle, grésil

précipitations occultes : rosée, gelée blanche, givre

pluies acides

P.Hubert
nov. 1996

RISQUE HYDROLOGIQUE ou LIE A L'EAU

Etym. hist. Ital.risco (auj. plus souvent rischio), probablement d'un lat. pop. resecum, "ce qui coupe", "écueil" (d'où "risque que court une marchandise en mer"), du lat. clas. resecare, enlever en coupant, retrancher, supprimer, de re-, pref. marquant le mouvement en arrière et de secare, couper, découper.
1573, Charrière (III,444) au fém. (au masc.,1657, Pascal) au sens 1 (à tout risque, v.1770, J.J.Rousseau).

I. RAPPEL SUR LA NOTION DE RISQUE

Définitions existantes

Littré (1850-1873)
Péril dans lequel entre l'idée de hasard
Grand Larousse:
1. Danger, inconvénient plus ou moins prévisible
2. en droit, éventualité d'un événement futur soit incertain, soit d'un terme indéterminé ou ne dépendant exclusivement de la volonté de l'homme, qui causera un dommage (incendie, maladie, mauvais temps...).
Le Robert (1973)
1. Danger éventuel plus ou moins prévisible
2. "Le risque est le hasard d'encourir un mal, avec espérance, si nous échappons, d'obtenir un bien" (Condillac)

Commentaires
* Dans le concept de risque les notions de probabilité d'occurence d'un événement, d'un phénomène (aléa), de dommage potentiel lié lui même à une vulnérabilité des sujets exposés, sont indissociables. Un risque est une probabilité de dommage.
Le concept de risque ne peut donc être réduit ni à la seule probabilité d'un phénomène, ni à la seule notion de danger (cf. la nomenclature des "risques" , objets d'assurance)
* La notion de risque est inséparable d'un processus de décision : on s'expose à un risque, on prend, court ou fait courir un risque ou on se prémunit contre (cf. le verbe risquer).

II. NOTION DE RISQUE NATUREL

Définition
" Un risque naturel est un phénomène naturel potentiellement destructeur. Pour les spécialistes cette expression ne qualifie pas nécessairement le phénomène lui-même, mais plutôt le risque qu'il présente pour une population donnée. Elle répond au concept probabiliste développé dans les années 1950 par les scientifiques qui ont défini le risque comme une "espérance mathématique" de dommages possibles. Un risque résulte de la combinaison de deux termes:

- l'aléa naturel, c'est à dire la probabilité d'occurence, dans un laps de temps et une zone donnés, d'un phénomène naturel d'intensité fixée,
- les dommages causés aux éléments exposés par le phénomène d'intensité retenue.

Les dommages seront d'autant plus élevés que la vulnérabilité des éléments exposés au phénomène considéré sera grande. Certaines communautés sont ainsi plus vulnérables que d'autres aux effets des phénomènes naturels"

Extrait de Ph. Masure, in Annexe 1 au Rapport d'étape de l'Instance d'évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels, "Réflexion sur les aspects scientifiques et techniques de la prévention" (mars 1992)

Parmi les sept types de risques naturels mentionnés dans le rapport précité, en référence aux conditions du territoire français, quatre mettent en jeu directement ou indirectement les eaux naturelles:

1- les phénomènes météorologiques violents, comprenant notamment les "pluies torrentielles";
2- les inondations;
3- les avalanches de neige;
4- les mouvements de terrain (en partie imputables au rôle hydromécanique de l'eau).

A noter toutefois que l'expression "risque hydrologique" ou "lié à l'eau" n'est pas usitée ici.

Une notion qui interfère avec celles de risque naturel et de catastrophe naturelle conséquente est celle de risque majeur défini comme suit :

" événement naturel ou artificiel susceptible de causer des dommages importants aux personnes et aux biens dont il convient d'analyser la probabilité d'occurence et les conséquences pour édicter les mesures permettant de s'en prémunir" (Ministère de l'Environnement, Doc. provisoire, avril 1994) .

Ce concept plus large quant aux facteurs incriminables implique en outre une échelle d'ordres de grandeur des dommages.

III. RISQUE HYDROLOGIQUE OU LIE A L'EAU

Définitions existantes

Glossaire International d'hydrologie :

1. Réalisation potentielle des conséquences indésirables d'un événement, fonction de sa probabilité et de la grandeur de ses conséquences.
2. On l'utilise aussi parfois pour désigner la probabilité d'occurence d'un événement de grandeur donnée dans un intervalle de temps donné.

Glossaire National des SDAGE (OIE,1995)

Risque lié aux zones inondables : atteintes à la vie, à la santé ou dommages qui peuvent se produire dans les zones inondables. Dans celles-ci, on peut distinguer plusieurs niveaux de risques en fonction de la gravité des dommages à craindre compte-tenu de la hauteur de submersion, de la

vitesse du courant (pour la crue considérée) et de la vulnérabilité des sites exposés.

La notion de "risque hydrologique" a été indirectement "officialisée" par le CNRS puisqu'un des programmes nationaux de cet organisme porte sur cette problématique et s'appelle "risques hydrologiques" au même titre que d'autres programmes sur les "risques volcanologiques" et les "risques sismiques".

Proposition de définition

En concordance avec les sens des concepts de risque en général et de risque naturel rappelés ci dessus, la probabilité d'occurence de phénomènes hydrologiques d'intensité donnée ne sera pas appelée "risque" mais aléa et l'expression risque hydrologique ou risque naturel lié à l'eau sera définie ainsi:

Probabilité de dommage occasionné aux personnes et aux biens(*) par les eaux, dans des situations d'occurence aléatoire.

(*)"dommages aux biens" est à rapprocher des "dégats des eaux" de la nomenclature des assurances.

Commentaires
- L'adjectif "hydrologique" est pris ici dans le sens de "relatif à l'eau" et non au sens propre de "relatif à l'hydrologie". "Risque hydrologique" est une expression analogue, à cet égard, à "risque géologique", "risque sismique", "risque cyclonique" ou "risque technologique".
- L'expression "risque hydrologique" en tant que telle n'est usitée ni définie dans aucun texte officiel relatif aux "risques naturels", dans les textes du droit de l'environnement, dans les déclarations d'état de "catastrophe naturelle" ou dans le domaine des assurances. L'utilité d'une dénomination commune à l'ensemble des risques naturels liés à l'eau ne s'est apparemment pas fait sentir. Cela tient au fait que ces risques correspondent à des phénomènes de natures assez différentes, bien que déterminées pour la plupart par des aléas climatiques similaires, et aussi à des vulnérabilités distinctes.
- Dans la pratique, le principal "risque hydrologique" généralement reconnu est le **risque d'inondation** et il serait peut être plus approprié d'utiliser alors cette expression pour le désigner, plutôt que "risque hydrologique" qui a un sens plus général.
- Les risques naturels liés à l'eau, tout particulièrement les risques d'inondation, sont inséparables des décisions qui déterminent la vulnérabilité des sujets exposés : formes d'occupation et d'utilisation des zones inondables, efforts de défense liés eux mêmes à l'appréciation du risque, c'est à dire à l'espérance mathématique de dommages encourus définis.

Typologie des risques naturels liés à l'eau

Bien que le risque hydrologique soit la plupart du temps associé aux phénomènes d'inondation, il ne saurait se restreindre à cette seule acception. C'est pratiquement tout le cycle de l'eau qui est susceptible de porter préjudice aux hommes et à leurs biens.

Il est souvent délicat de faire la distinction entre les risques purement hydrologiques et les risques liés aux aléas climatiques. Un risque climatique peut induire un risque hydrologique.

Les principaux phénomènes hydrologiques aléatoires générateurs de risques intéressent les différents compartiments du cycle de l'eau:

- Les **inondations**, qu'elles proviennent de l'écoulement superficiel, de remontée de nappe, de lâchure de barrage (ce dernier peut être aussi considéré comme "risque technologique")...

- Les **avalanches**, suite à des chutes de neige très intenses;

- Les **glissements de terrain** et les **coulées de boue** provoqués par des saturations du sol, conséquences de pluies intenses et de mises en mouvements de matériaux;

- Les phénomènes d'**érosion** accélérée liés aux "pluies torrentielles", y compris l'érosion souterraine (évolution de la karstification) provocatrice d'effondrement, ainsi que de sédimentation, atterrissements et enfouissements corrélatifs.

Commentaires
- Faut-il étendre les risques hydrologiques aux conséquences dommageables des phénomènes hydrologiques extrêmes à l'opposé des excés d'eau : des déficiences associées aux sécheresses ? Il ne s'agit pas d'aléas symétriques ni par leur occurence ni par leurs effets ou par les vulnérabilités des sujets exposés. Les **sécheresses** en tant qu'absence de pluie ne seront pas considérés comme risques hydrologiques mais plutôt comme "risque climatique".L'eau ne peut être considérée comme un facteur des dommages imputables à son manque (voir pénurie).
- L'expression "risque de défaillance" employée par certains hydrologues pour désigner "la probabilité qu'un débit d'écoulement naturel de référence ne soit pas atteint" n'a que le sens d'un aléa et non celui d'un risque (cf. supra), même si le débit de référence correspond à un seuil au dessous duquel une situation de pénurie est prévisible.

J.P. Carbonnel et J.Margat
juillet 96

SALINISATION

Etymologie et Histoire : L'adj. salin (XVIè) et le nom féminin saline (XVIIIè, "marais salant") sont à l'origine de nombreux dérivés : anciens comme salinage, salinier, (var.saunier), sans parler des nombreux toponymes; modernes, comme salinité (1867) "teneur en sel" (d'un milieu quelconque), préféré à l'ancien terme salure (XIIIè). Plus récemment, les dérivés saliniser et salinisation (enregistré dans le Petit Larousse en 1993) font référence à l'augmentation de la salinité de certains sols ou milieux. Ils semblent n'être employés que depuis le milieu du XXè siècle.

Définitions existantes:
Le Robert : Augmentation de la teneur en sel (d'un sol, d'une eau).

Définition proposée :

Augmentation de la teneur en sels de l'eau ou d'un milieu naturel en général.

Commentaires :

- Dans les zones à déficit de précipitations, ou si le rapport évaporation/apports est défavorable, ou si le drainage est insuffisant, la remontée capillaire et l'évaporation provoque l'accumulation des sels dans le sol (surtout le gypse, entre 20 et 100 cm de profondeur) avec des résultats néfastes : destructuration et imperméabilisation des sols. Peu de plantes tolèrent des sols enrichis en gypse, encore moins en halite (plantes halophiles) et autres sels déliquescents. Près de 30% des terres arables dans le monde sont salinisées ou en passe de l'être.
Le remède à de tels accidents est l'ennoiement régulier (sans excès) pour dissoudre les sels précipités, et un drainage énergique. Les sols très altérés par la salinisation sont difficiles à remettre en état. Les eaux de drainage, enrichies en sels, et impropres à la majorité des usages, doivent être utilisées avec de très grandes précaution. La seule solution pour les éliminer est leur rejet à l'océan ou le stockage dans des dépressions fermées et imperméables.

- Plusieurs mots sont proches de la notion de salinisation et souvent mal adaptés; on retiendra que salure et salinité sont des termes descriptifs, salinisation et salage (épandage de sels en surface) sont des processus.

R. Letolle
nov.1996

SOURCE

Etymologie et Histoire : D'abord sorse (XIIè s.), féminin substantivé de sors, ancien participe passé de sourdre (XIIè s.), du latin surgere, "se lever, surgir", par l'intermédiaire d'un participe passé populaire sursus, classique surrectus. La forme source apparait au XIVè s.

REM.1. : Le mot est à rapprocher de surgeon (XVè s.) sorjon (XIIIè s.), d'abord "petite source" (encore chez Montaigne, II,12 : suivez-les (lois)contremont jusques à leur source, ce n'est qu'un petit surjeon d'eau à peine reconnaissable), de l'ancien participe présent de sourdre sourjant (vive et sourgeante fontaine, Scève, Délie, 307). Le substantif surgence n'est pas attesté, mais sur les participes présents des verbes latins exsurgere et resurgere ont été formés les dérivés savants exsurgence et résurgence.

REM.2. : Source a été longtemps en concurrence avec fontaine (cf. B.Palissy, 1580 et P.Perrault, 1674). Rappelons d'ailleurs que la dite fontaine de Vaucluse est le type de source vauclusienne

Définitions existantes :

P.Perrault, 1674 : " ... ces ouvertures par où l'on voit l'eau entrer dans les Rivières qu'on appelle sources".

Dict. de l'Académie, 1694 : " endroit où l'eau commence à sourdre, à sortir de terre, pour avoir un cours continuel".

Encyclopédie : "Les sources sont... les orifices (tangibles ou masqués) par où l'eau souterraine (ou une partie de cette eau) revient spontanèment au jour".

Littré : "L'eau qui sort de la terre, et qui est l'origine d'un cours d'eau. L'endroit d'où l'eau sort."

Le Robert : " Eau qui sort de terre; issue naturelle ou artificielle (forage) par laquelle une eau souterraine se déverse à la surface du sol".

Imbeaux, 1930 : " Vulgairement, on appelle source toute émission d'eau qui sort de terre avec une certaine permanence et cela sans distinguer d'où provient cette eau".

H.Schoeller, 1962 : " Les sources représentent les points de sortie des eaux souterraines".

Dict. franç. d'Hydrologie de surface, M.Roche, 1986 : " Eau coulant librement d'un rocher ou d'un sol quelconque par une

ou plusieurs issues à débit individualisé (griffon) ou par un suintement (source diffuse)".

Glossaire Internat. d'Hydrologie, 1992 : " Origine d'un cours d'eau" et "Lieu d'où l'eau émerge naturellement du sol ou de la roche et s'écoule soit à la surface du sol, soit dans une formation aquatique".

Remarques

Passage privilégié de l'eau du sous-sol à la surface, connection entre les aquifères et les cours d'eau superficiels, une source est un phénomène ambivalent : sortie ou "émergence" d'eau souterraine, origine d'écoulement d'eau de surface. Suivant le point de vue auquel se place l'observateur, suivant le milieu de circulation des eaux considéré, les définitions des sources - notamment celles respectives des hydrogéologues ou des hydrologues "de surface", ou encore des géographes - mettent l'accent sur l'un ou l'autre de ces aspects.

Définition proposée

Phénomène et lieu d'apparition et d'écoulement d'eau souterraine à la surface du sol, à l'origine en général d'un cours d'eau de surface. Vasque d'eau formée par l'émergence.

Commentaires :

1 - Source associe étroitement des sens actifs et des sens neutres :

* Sens actifs :
  - le fait de sourdre, phénomène d'émergence d'eau sortant du sous-sol;
  - l'écoulement d'eau qui s'ensuit en surface; le débit d'une source, un source pérenne, le tarissement d'une source.
* Sens neutres :
  - le lieu d'émergence, l'origine d'où l'eau sort, le point d'origine d'un cours d'eau; l'altitude d'une source, la source d'une rivière, une source sous-marine, une ligne de sources;
  - l'eau qui sourd (par métonymie); une source reçoit différents qualificatifs relatives à l'"eau de source" : une source thermale, une source minérale, troubler une source.

2 - Dans un sens restreint (vieux), source a parfois été spécialisé pour désigner les seules issues de nappe souterraine d'aquifère poreux, dont l'eau est censée avoir été relativement "filtrée", par opposition aux exutoires d'aquifères fissurés ou karstiques qualifiés de "fausses sources". "Les véritables sources sont caractérisées par un débit faible (ou modéré), constant et par une température et une composition invariables" (Martel, 1921). Cf. "Source vraie" (H.Schoeller, 1962).
N.B. : Ce dernier sens est toujours sous-entendu dans l'expression eau de source.

3 - Dans un sens élargi impropre, source est employé parfois, notamment par les mineurs ou les opérateurs de travaux souterrains, pour désigner toute venue d'eau localisée, provoquée par une excavation, un puits, une fouille.
Réf. P.Perrault, 1674 ; "Un sondage de dix mètres... ramena une source d'eau très-abondante" (Héricart de Thury, 1829). Cf. Le Robert.
Mieux vaut utiliser dans ce sens "venue d'eau".
Plus largement et anciennement source a désigné toute eau souterraine susceptible d'être trouvée et captée : rechercher les sources cachées. "Par le mot source j'entends un cours d'eau souterrain" (Paramelle, 1856). Larousse, 1933.
N.B. : De ce sens dérive le mot "sourcier".

Typologie :

Les sources sont classées et reçoivent divers qualificatifs suivant différents critères, qui se rapportent à l'un des sens actifs ou neutres définis plus haut.

* Suivant les conditions hydrogéologiques qui déterminent leur situation, le type de nappe souterraine dont elles constituent un exutoire :
  - source de déversement, de débordement ou de trop plein (correspondant aux types de nappes souterraines libres de mêmes dénominations) ; source d'émergence ou de dépression (source d'aquifère à nappe libre non liée à l'affleurement du substratum) ; source d'étranglement;
  - source artésienne ou jaillissante (issue d'une nappe captive) ;
  - source diaclasienne, source karstique ou de karst, exsurgence (issues d'un aquifère discontinu ; source vauclusienne (exutoire d'un conduit karstique ascendant subvertical) :
  - résurgence, ou "source secondaire" (vieux, Imbeaux, 1930) retour en surface d'eau originaire, en tout ou partie, de pertes d'un ou plusieurs cours d'eau dans un aquifère karstique.

* Suivant la continuité ou non de l'écoulement, le régime de variation du débit : source constante, pérenne, saisonnière, intermittente, temporaire ou accidentelle.

* Suivant un caractère de localisation : source de coteau, source littorale; sources submergées (sous-fluviale, sous-lacustre, sous-marine).

* Suivant une caractéristique de l'eau :
  - suivant la température : source chaude, thermale ; source hypotherme, orthotherme, hypertherme à température respective inférieure, égale (ou n'excédant pas plus de 4°C) ou supérieure (de plus de 4°C) à la température moyenne annuelle de l'air du lieu (H.Schoeller, 1949).
  - suivant une caractéristique chimique: source salée, séléniteuse, ferrugineuse, sulfureuse, minérale, incrustante ou pétrifiante.

J.Margat
nov. 1996

SYSTEME AQUIFERE

Histoire

Cf. H.Schoeller,1962, E.Berkaloff, 1967
G.Castany, J.Margat "Dict. franç. d'Hydrogéologie", 1977;

Définition proposée

Aquifère ou ensemble d'aquifères et de corps semi-perméables ("aquitards") d'un seul tenant, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique continue et qui est circonscrit par des limites faisant obstacle à toute propagation d'influence appréciable vers l'extérieur, pour une constante de temps donné.

Commentaires

- Type particulier d'hydrosystème, la notion de système aquifère procède de l'application du concept de système à l'analyse des phénomènes hydrogéologiques, qu'ils soient physiques, chimiques ou biologiques, à l'échelle régionale.

- Un système aquifère peut être considéré comme un système dynamique (siége d'un processus) ouvert et séquentiel (comportant une entrée, un circuit et une sortie) recevant -ou pouvant recevoir- des impulsions et émettant des réponses
Sa conception met l'accent sur le comportement global, les conditions aux limites et les échanges de flux avec l'extérieur, plus que sur la complexité et la diversité de sa structure interne.

Un système aquifère est à la fois le champ d'écoulement des eaux souterraines (et de transports par celles ci), suivant la répartition des potentiels (charges hydrauliques), et le champ de propagations d'influences de toutes origines, naturelles et artificielles.

- Un système aquifère conceptuel est plus ou moins simplificateur d'un système réel, finalisé suivant l'application visée et schématisé par un modèle conceptuel. Les notions de système et de modèle sont ainsi indissociables.

- Un système aquifère constitue une unité adéquate d'évaluation de ressource et de gestion des eaux souterraines : son champ territorial doit être mis en correspondance avec un ensemble d'acteurs et avec le champ de compétence d'une autorité de gestion.

Typologie

Les systèmes aquifères identifiables dans tout territoire peuvent être classés en différents types :

- Suivant le degré de complexité de leur structure et le nombre d'aquifères individualisés qui les composent, en systèmes monocouches, bi-couches, ou multicouches;
- Suivant le degré et les formes de leur intégration dans les hydrosystèmes d'eau de surface (bassins hydrographiques), en systèmes indépendants (à aquifères profonds captifs ou à aquifères littoraux non reliés à des cours d'eau), connectés ave un seul bassin hydrographique ou partagés entre deux (ou plusieurs) bassins distincts.

Un système aquifère peut être subdivisé en sous-systèmes suivant sa structure (par exemple les aquifères élémentaires d'un sytème multi-couches ou les "blocs" séparés d'un système aquifère compartimenté) ou suivant l'organisation et la répartition en sous-bassins des écoulements souterrains internes.

Dictinctions

Le concept de système aquifère est à distinguer de ceux d'aquifère et de bassin hydrogéologique :

- Aquifère (voir ce terme) ou formation aquifère : concept hydrogéologique et géostructural associé à celui de nappe souterraine et à une capacité de production d'eau souterraine. Un aquifère peut être l'un des composants d'un système aquifère.
- Bassin hydrogéologique : partie d'un aquifère, simple ou complexe dans laquelle les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou groupe d'exutoires ; il est délimité par une ligne de partage des eaux souterraines qui, à l'encontre de celle des bassins de surface peut être migrante ; c'est l'homologue souterrain d'un bassin versant pour les eaux de surface (IMBEAUX, 1930).
Un système aquifère peut être subdivisé en plusieurs bassins hydrogéologiques.

J.Margat.
Juin 1996

Outils

BILAN HYDRIQUE - BILAN HYDROLOGIQUE

Etymologie : de l'italien "bilancio", balance

Définitions existantes

Petit Larousse : "compte de l'actif et du passif d'un négociant" (sens général de "bilan comptable")

Quillet ajoute les notions de "bilan thermique" : calcul du rendement d'une machine thermique" et de "bilan énergétique" : calcul des quantités de calories fournies par les aliments et produites par l'organisme"

Le Dictionnaire des synonymes oppose à "bilan" (d'une entreprise),"tableau donnant son actif et son passif à une date donnée et régulière", la notion d'"état", "la liste énumérative d'un compte", et de "situation", "qui en donne une situation ponctuelle"

G.I.H donne pour le terme "bilan hydrologique" la définition suivante : " Bilan d'eau fondé sur le principe que, pendant un certain intervalle de temps, le total des apports à un bassin versant ou à une formation aquatique, doit être égal au total des sorties plus la variation, positive ou négative, du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation" . "L'équation de stockage", proposée comme synonyme, est elle définie comme "équation exprimant le bilan de stockage, qui met en jeu les entrées, les sorties et les variations de la réserve, dans une entité hydrologique quelconque pendant une certaine période". Le GIH ajoute à ces notions celle de "bilan hydrologique mondial", "bilan de la circulation de l'eau sur toute l'étendue de la surface terrestre, continents et océans". En contre partie, la notion de "bilan hydrique" n'est pas abordée.

Le Vocabulaire de l'hydrologie et de la météorologie assimile le bilan hydrique au bilan hydrologique : "Bilan hydrologique" : "Expression exprimant la répartition des différents volumes d'eau compris dans chacune des parties du cycle de l'eau, pour une période et un bassin donné. On dit aussi bilan hydrique".

Le Dictionnaire de la Géographie définit "bilans hydriques ou hydrologiques" : "Etude comparée de la lame d'eau tombée à la surface d'un territoire ou d'un bassin versant et des différentes formes de transfert de cette eau soit par évapotranspiration, écoulement, infiltration et alimentation des nappes souterraines. Le bilan hydrologique se résume, pour un intervalle de temps donné, généralement l'année, par l'équation P=Q+E+deltaR, P désignant la hauteur d'eau

précipitée sur le bassin versant, Q la lame d'eau écoulée par le réseau hydrographique, E la tranche d'eau retournée à l'atmosphère par évapotranspiration et deltaR les variations des nappes souterraines pendant le même temps."

Le Grand Larousse encyclopédique définit ainsi le "bilan de l'écoulement ou bilan hydrologique": "Etat comparatif des pluies et des débits sur un bassin fluvial durant une période donnée (année, saison, averse). Le bilan hydrique étant la "comparaison entre les quantités d'eau fournies à une plante et utilisées par elle". Puis il précise sous la rubrique "agriculture" : " Pour l'établissement des bilans hydriques, on comptabilise, au crédit, les apports d'eau pendant le cycle de la plante (pluie ou irrigation) dans la limite de la capacité d'absorption du sol (l'excés est considéré comme inutilisable) et la qualité (quantité? NDR) d'eau présente dans le sol au moment de l'implantation de la culture; au débit, à l'eau évaporée directement à partir du sol est ajoutée celle qui correspond à la transpiration de la plante. Les bilans hydriques prévisionnels établis à partir de l'étude fréquentielle du climat permettent de mieux adapter les cycles culturaux à la pluviosité."

Définition proposée

Dans tous les cas c'est l'aspect comptable du terme bilan qui prévaut en hydrologie, que ce soit au niveau des bilans hydriques ou hydrologiques. Trop souvent confondus, ces deux termes sont bien replacés dans leurs domaines respectifs par le Larousse Encyclopédique : le bilan hydrologique se situe à l'échelle du bassin versant et concerne une démarche hydrologique, le bilan hydrique se situe à l'échelle de la plante et participe d'une démarche agronomique.

Simples opérations comptables, bilan hydrique et bilan hydrologique visent tous les deux à établir le budget entre les entrées et les sorties en eau d'une unité hydrologique définie pendant une période de temps donné.

Dans sa formulation la plus générale, il s'écrit:

$$P=Q+ETR+deltaR(u+h)$$

Tout ce qui tombe (P) dans un espace hydrologique et dans un laps de temps donnés soit s'écoule (Q) soit repart dans l'atmosphère par évapotranspiration (ETR), soit participe à la recharge des réserves en eau du sol (Ru) ou du sous-sol (Rh). Les variations de réserve peuvent être également négatives et contribuer aux écoulements et/ou à l'évapotranspiration.

Suivant le schéma auquel on s'attache, et l'échelle considérée, on parlera de bilan hydrique, en général à l'échelle stationnelle (et dans ce cas le débit Q sera composé de l'infiltration profonde et/ou du ruissellement, et deltaRh sera ignoré), ou du bilan hydrologique à l'échelle d'un bassin versant.

Les bilans peuvent concerner également des éléments liés à l'eau, par exemple des éléments dissous (on parlera de "bilans géochimiques") ou des particules solides véhiculées par l'eau, ou même par d'autres facteurs (bilan érosif).

Calcul du bilan hydrologique

Le bilan hydrologique se situe donc à l'échelle du bassin versant (quelle que soit sa taille), considéré comme un système fermé, dont on peut résoudre l'équation de base :

$$P=Q+ETR+ deltaR$$

équation valable à n'importe quel intervalle de temps, mais qui n'a d'intérêt qu'utilisée dans un intervalle ayant une signification hydrologique (année hydrologique - et non pas légale ; épisode de crue ; saison hydrologique...).

Les pluies et les débits sont le plus souvent mesurés, le débit étant exprimé en lame d'eau écoulée en tenant compte de la surface du bassin versant. Les choses sont plus complexes en ce qui concerne le terme deltaR, variation des réserves en eau, soit positive, soit négative, qui cumule les variations de stockage de l'eau dans la tranche superficielle du sol (réserve hydrique, ou réserve "utile", Ru) et dans le sous-sol (réserve hydrologique, Rh). La réserve hydrologique, en régime non influencé, peut se déduire de l'équation de la loi de décrue, dans la mesure où celle-ci a pu être établie. La réserve hydrique est encore plus difficile à connaitre avec précision : elle peut se mesurer (mais en quelques points...) ou s'estimer à partir de différents modèles de reconstitution ou de décroissance. La difficulté qu'il y a toujours dans une telle démarche, comme l'imprécision dont le terme deltaR est généralement entaché font que, dans la mesure du possible, on essaye de s'en affranchir en partant de moments privilégiés du cycle hydrologique entre lesquels les variations de niveau des réserves peuvent être considérées comme nulles ou négligeables : pour Rh, ce sera des moments où le débit de base est le même. Pour Ru, ce sont les valeurs d'équilibre (capacité de rétention ou au contraire épuisement) qui, selon les climats, peuvent se maintenir une bonne partie de l'année, qui seront privilégiées.

L'ETR demeure souvent inconnue, et reste souvent la valeur à déduire par soustraction à partir de l'équation de bilan. Le problème est que, étant le terme résiduel, il est entaché à la fois des erreurs de mesure sur la pluie et les débits, des incertitudes sur la surface du bassin versant, et des difficultés d'estimation des réserves... Si cette méthode des bilans hydrologiques demeure en tout état de cause la seule méthode de référence possible, à l'échelle du bassin, pour connaitre l'évapotranspiration réelle, il ne faut pas pour autant en sous estimer les faiblesses. Celles-ci sont particulièrement graves en cas de comparaison du fonctionnement hydrologique de bassins versants différents.

Calcul du bilan hydrique

Le bilan hydrique se situe à l'échelle stationnelle de la plante, ou tout au plus du champ, et s'écrit :

$$P=ETR+I+deltaRu$$

Les gains du système, sous forme de pluies ou d'apports par irrigation, sont mesurés ou connus. Les pertes se composent

de l'évapotranspiration, comme dans le cas du bilan hydrologique, et de l'infiltration profonde I, qui représente l'eau transitant par le profil pédologique sans y demeurer, et qui est donc perdu pour le système "sol-plante-atmosphère" ; ce terme I correspond à l'écoulement c'est à dire à la somme des termes Q et deltaR du bilan hydrologique. le terme deltaR se limite alors à deltaRu, et ne concerne que les variations de stocks d'eau dans la partie superficielle du sol ; il est le plus souvent mesuré directement par le suivi des profils hydriques. Le terme I est également connu à partir de ce suivi des profils hydriques et de la détermination du plan de flux nul, par exemple par des méthodes tensiomètriques ; il est le plus souvent positif, mais peut être négatif en cas de remontées capillaires.

L'ETR peut soit être déduite de l'équation, soit être mesurée, en utilisant des méthodes indirectes (micrométéorologique de bilan d'énergies) ou des méthodes directes à partir de lysimètres. L'estimation indépendante des différents termes du bilan est alors un moyen très rigoureux d'avoir une idée des marges d'erreur sur les valeurs établies des différents termes de l'équation de bilan.

C.Cosandey
déc.1996

ISOTOPES

Etymol. et Histoire
Mot créé en 1913 par le physicien et chimiste anglais Soddy, composé savant du grec isos "égal, le même" et topos "lieu, place", proprement "qui occupe la même place", ici dans la classification de Mendeleïev, avec le même numéro atomique. Le morphème initial iso est très productif dans le vocabulaire savant (isomère, isotherme, isobare etc...)
En français isotope est attesté dès 1914 (Le Radium, déc)

Définitions existantes

Le Robert : Chacun des éléments de même numéro atomique (occupant la même place dans la classification de Mendeleïev), mais de masse atomique différente.

G.I.H : Traceur isotopique : traceur naturel (présent dans l'eau), qui est un isotope d'un des éléments présents dans l'eau.

Dict. de l'eau (1981) : Se dit d'éléments ne différant que par le nombre de neutrons et présentant des propriétés chimiques presque identiques, ce qui conduit à les placer dans une même case de la classification périodique, donc à leur affecter le même numéro atomique.

Dict. franç. d'Hydrogéologie (1977): Isotope du milieu: Isotope d'origine naturelle ou artificielle (résultant d'explosions nucléaires), présent dans l'environnement naturel à une échelle globale ou régionale, sans pouvoir être volontairement modifié, et pouvant servir de marqueur de l'eau.

Définition proposée

Les isotopes d'un même élément (même nombre de protons, nombre différent de neutrons) ne se distinguent entre eux que par un comportement physique et chimique légèrement différent. Présents naturellement dans l'environnement ou apportés artificiellement, ils peuvent être utilisés comme marqueurs de l'eau et des substances dissoutes.

Commentaires

- Certains isotopes sont radioactifs, c'est à dire qu'ils se transforment en isotopes d'un autre élément (par opposition, les autres isotopes sont dits "stables"). Les isotopes radioactifs existent naturellement et proviennent soit des roches (isotopes de l'Uranium, du Thorium, ^{40}K, ^{87}Rb etc.., soit de synthèses dans l'atmosphère par l'action du rayonne-

ment cosmique (Tritium, Radiocarbone) sur l'azote, l'oxygène et l'argon. Ces isotopes proviennent aussi du produit de réactions nucléaires artificielles (explosions et centrales nucléaires) et passent dans l'atmosphère et les effluents liquides.

- Isotopes dans l'eau
On considère séparément :

1 - les isotopes de la molécule d'eau, soit, pour l'hydrogène: ^{1}H (environ 99,99%), ^{2}H (ou D: deutérium, environ 1/6400), ^{3}H ou tritium (10^{-18} ou moins dans les eaux anciennes); ^{16}O (99,8%), ^{17}O (1/1500), ^{18}O (1/500); ^{17}O est très rarement dosé.

2 - les isotopes appartenant à des substances dissoutes dans l'eau, en particulier HCO_3 (utilisation des isotopes ^{12}C (99%), ^{13}C (env.1%), ^{14}C (env. 10^{-12} pour les eaux récentes); SO_4, ^{32}S (env.4%), seul isotope rare dosé); NO_3 (^{14}N, env. 99,7%, ^{15}N, env. 0,3%), etc...

- Deux caractéristiques isotopiques sont utilisées en hydrologie :

1 - le fait que certains isotopes sont radioactifs permet la datation d'une masse d'eau isolée: le tritium pour H_2O elle même et ^{14}C pour HCO_3. Si la teneur Q_0 en ces isotopes est supposée connue en un instant t_0 le temps écoulé au temps t de la mesure est donné par la quantité d'isotope radioactif disparu depuis depuis t_0 : $Q-Q_0= e^{-k(t-t0)}$, où k est une constante caractéristique de l'isotope radioactif, mieux connue au travers de la "période radioactive" (0,693/k), qui est de 12,7 ans pour ^{3}H et 5640 ans pour ^{14}C. D'autres isotopes peuvent être utilisés (^{10}Be, ^{37}Ar etc...);

2 - pour tous les isotopes, le comportement physique est modifié par la substitution d'un isotope lourd à un isotope léger, dans les phénomènes d'évaporation, de condensation, d'échange avec l'encaissant etc.. Par exemple les molécules $H_2{}^{18}O$ et HDO s'évaporent moins vite que $H_2{}^{16}O$, ce qui fait que l'eau restante s'en trouve enrichie.

- Applications:

- Datation de l'eau d'aquifères moyennant certaines précautions théoriques, entre zéro et 50 ans avec le tritium et de quelques siècles à 100 000 ans avec le ^{14}C.

- Détermination de l'origine de l'eau des aquifères (les eaux météoriques sont signées par leur teneur en isotopes stables selon leur origine géographique et leur saison) ; détermination de mélanges variés, entre eaux de surface, profondes et éventuellement magmatiques; importance de l'évaporation et/ou de l'échange avec l'encaissant (utilisation couplée de l'abondance des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène).

- Un enrichissement artificiel de l'eau en un isotope donné (stable ou radioactif) apporte un marquage idéal

(soumis à autorisation pour les éléments radioactifs) du fait que le marqueur ainsi formé a un comportement plus proche de celui de l'aquifère qu'aucun traceur chimique.
Dans tous les cas les mesures doivent être effectuées par des laboratoires spécialisés, et restent relativement onéreuses, spécialement pour les datations.

Références:
- Isotopes guidebook, IAEA (Vienne)
- Létolle R. et al., 1993. Les isotopes stables. ADIT (Strasbourg).

R.Letolle
nov.1996

MODELE

Etymologie : Empr. ital.modello, d'un lat. pop. modellus, variante du classique modullus, diminutif de modus "mesure". Terme de Beaux-Arts à l'origine (XVIè) et chez B.Palissy dèjà dans le sens de "représentation en petit de ce qui sera reproduit en grand" (comme une maquette); un peu plus tard au sens de "type caractéristique" puis au sens moral "exemple à imiter". L'emploi scientifique du mot apparait en 1952 dans le langage des cybernéticiens; il se répand rapidement dans diverses sciences y compris les sciences humaines (économie, sociologie, linguistique etc..). De cet emploi dérivent modéliser, modélisation (attestés entre 1970 et 1980). A noter que simulation, dans son acceptation technoscient., est attesté en 1960.

Les définitions existantes

de Modèle:

Le Trésor de la Langue Française : Système physique, mathématique ou logique représentant les structures essentielles d'une réalité et capable à son niveau d'en expliquer ou d'en reproduire dynamiquement le fonctionnement (Birou, 1966). Ex : modèle explicatif, modèle logico-mathématique.

Le GHI donne la définition suivante : "Représentation sous une forme quelconque d'un objet, d'un processus ou d'un système.

Le Dictionnaire de l'environnement donne pour le mot "modèle" la définition suivante: " Représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de la prévoir"

de Modèle hydrologique :

Le GHI : En hydrologie, un modèle est la plupart du temps une représentation mathématique d'un bassin, d'un système d'eau, d'une série de données...

Le Dictionnaire de l'eau ne donne que le mot "modèle hydraulique" : Représentation à l'échelle réduite d'un ouvrage - et de son site - dont on veut étudier la forme ou qu'on veut modifier avant son implantation.

Le Dictionnaire français d'Hydrogéologie fournit la définition suivante: "Toute représentation théorique simplifiée d'un système aquifère : elle comporte la définition d'une structure, la formulation de lois (relations déterministes ou probabilistes) reliant les impulsions ou entrées du système à ses réponses ou sorties, et la définition des paramètres (constantes ou variables pouvant prendre des valeurs numériques) entrant dans ces relations. Un modèle peut être déterministe.. stochastique ...ou statistique..
Un modèle peut être conceptuel.. ou empirique.. Enfin un modèle peut être global ou distributif....".

Définition proposée

Si dans son acception première un modèle est défini comme un objet ou une personne à imiter, un exemple ou un archétype, il est devenu dans le domaine scientifique une construction matérielle ou abstraite "ressemblant" à l'objet modélisé, selon un certain nombre de caractéristiques pertinentes eu égard aux données disponibles et à l'objectif poursuivi.

Très pragmatiquement, l'intérêt d'un modèle réside dans sa capacité à apporter une réponse "satisfaisante" aux questions que l'on se pose à propos de l'objet modélisé, ce qui nous renvoie encore une fois à l'objectif assigné au modèle qui doit bien entendu précéder et orienter la conception et la construction du modèle (modèle finalisé). On comprend mieux alors pourquoi, parmi l'infinité des modèles possibles d'un objet, qui traduisent chacun un type de "ressemblance", un modèle particulier, qui n'est pas nécessairement le plus complexe, puisse ou doive être préféré à tout autre.

Typologie des modèles

Modèles physiques (ou modèles réduits), modèles analogiques et modèles mathématiques.

Ces trois types de modèles entretiennent de nombreuses relations. Un **modèle physique** est une maquette de la réalité. Ici la notion d'analogie est d'abord géométrique mais elle repose également sur de solides bases scientifiques, issues de l'analyse adimensionnelle développée en mécanique des fluides et en thermodynamique. Il existe entre les grandeurs mesurables dans la réalité et celles mesurables sur le modèle des rapports de similitude qui peuvent être calculés a priori et qui assurent la transposabilité en vraie grandeur des résultats obtenus sur le modèle. La justification du modèle repose en définitive sur le fait que les mêmes équations régissent les phénomènes en vraie grandeur et en modèle réduit. C'est cette même raison qui justifie les nombreux **modèles analogiques**, physiques aux aussi, où un original hydraulique peut être transposé électriquement par exemple. La modélisation de l'écoulement des eaux souterraines par des réseaux électriques où résistance, capacité et potentiel électrique simulaient transmissivité, emmagasinement et charge hydraulique a eu son heure de gloire il y a une vingtaine d'années.

Si les **modèles réduits** sont encore très utilisés, en particulier en raison de leur capacité à prendre en compte des conditions aux limites complexes mais aussi à cause de leur matérialité qui séduit souvent les maîtres d'ouvrage, les modèles analogiques ont pratiquement disparus au profit des modèles mathématiques pour des raisons de facilité de mise en oeuvre et surtout de coût.

Les **modèles mathématiques** seront de nature déterministe, s'appuyant sur des équations phénoménologiques (modèles à base physique) ou sur des schémas de fonctionnement (modèles

conceptuels), ou probabiliste (stochastique). Dans le premier cas c'est une valeur bien précise qui est associée aux variables et aux paramètres, alors que dans le second ce sont des distributions de probabilité qui sont associées à ces grandeurs. Les modèles mathématiques seront transitoires ou permanents selon que l'on prendra ou non en compte une variation des variables modélisées au cours du temps. Ils seront distribués ou agrégés selon que l'on introduira ou non une variabilité spatiale de leurs paramètres. S'il est habituel de les formuler, il est parfois bien difficile, et avouons-le souvent vain, de pratiquer ces distinctions formelles dans la pratique où, comme nous le soulignions plus haut, le pragmatisme est de règle. N'oublions pas enfin qu'un modèle mathématique n'est pas une pure abstraction: il doit être traduit en programme pour être animé sur un ordinateur où l'on pourrait rechercher une discrète mais bien réelle analogie électronique.

P.Hubert
nov. 1996

RECURRENCE (expression de la)

RECURRENT adj. **RECURRENCE** n.f.

Etym. et Hist. Du latin recurrens, part. prés. de recurrere, "courir en arrière, revenir en courant", de currere, "courir". XVIè s. ANAT., en parlant de nerfs qui remontent vers le tronc d'origine ; 1713, MATH., en parlant d'une série ; 1904 "qui revient, se répète, périodique". Dér. recurrence, 1840.

Remarque. L'expression de la récurrence et de la périodicité peut se faire par des syntagmes nominaux utilisant les indéfinis chaque (chaque jour) ou tous les (tous les jours). Mais le français dispose de nombreux adjectifs caractérisant tel ou tel évenement ou état qui se répéte à tel ou tel intervalle.

Horaire, toutes les heures
Quotidien (aussi **journalier**,vx journal), tous les jours
Hebdomadaire, toutes les semaines
Décadaire, tous les 10 jours
Mensuel, tous les mois
Bimestriel, tous les deux mois
Trimestriel, tous les 3 mois
Semestriel, tous les 6 mois
Annuel, tous les ans
Biennal, tous les 2 ans
Triennal, tous les 3 ans
Quadriennal, tous les 4 ans
Quinquennal, tous les 5 ans
Septennal, tous les 7 ans
Décennal, tous les 10 ans
Centenal, tous les 100 ans

Sont moins employés:
Vicennal, tous les 20 ans
Tricennal, tous les 30 ans

Seraient possibles, si le besoin s'en faisait sentir:
Quadragennal, tous les 40 ans
Quinquagennal, tous les 50 ans
Sexagennal, tous les 60 ans
Septuagennal, tous les 70 ans
Octogennal, tous les 80 ans
Nonagennal,, tous les 90 ans

Seculaire et **Millénaire** sont parfois pris dans le sens de "tous les siécles" et "tous les mille ans". D'où la possibilité des composés bimillénaire, trimillénaire etc.., comme biséculaire, triséculaire etc.., à condition que le contexte exclue le sens habituel (bimillénaire, qui a 2000 ans d'âge).

H.Cottez (nov.1996)

HYDROLOGIE GLACIERE

Nos collègues Francou et Pouyaud en poste à La Paz nous font parvenir une série de mots relatifs à l'hydrologie glaciaire.
Dans un premier temps la Commission de Terminologie a retenu l'élaboration d'une fiche sur le mot "glacier". Faut-il aller plus long ? Faut-il accepter des mots locaux d'origines linguistiques diverses (anglais, indonésien, islandais) qui relévent plus de la géomorphologie que de l'hydrologie ?
Ou bien cette note doit-elle figuré en annexe de la fiche générale sur le mot "glacier".
Nous attendons vos commentaires et suggestions.

HYDROLOGIE GLACIAIRE

Suggestions à la Commission de Terminologie du CNFSH

Bédière : chenal concentrant les eaux de fusion à la surface du glacier. En anglais :*(surface) stream*

Bilan de masse (d'un glacier) : somme algébrique de l'accumulation et de l'ablation sur un glacier . Le changement de masse se calcule par rapport à la surface de la fin de l'été précédent. Il s'exprime en $m^3m^{-2}a^{-1}$ d'équivalent eau. Dans le cas idéal, le **bilan hydrologique** du glacier estimé devrait être égal au bilan de masse déduit de la valeur de la sublimation de la glace et de l'évaporation des eaux de fonte. En anglais, *mass balance*.

Cavitation : creusement du lit rocheux par les eaux sous-pression circulant sous les glaciers ; les changements d'état de l'eau sous l'effet des variations brutales de la pression (passage du liquide à la vapeur et inversement) libèrent une grande quantité d'énergie et peuvent provoquer l'éclatement des roches et leur affouillement. En anglais, *cavitation*.

Conduit : chenal formé dans la glace, par lequel circulent les eaux dans le glacier. En anglais : *conduit*

Dépôts d'obturation glaciaire : terme désignant tous les dépôts formés par barrage d'un glacier des flux sédimentaires originaires d'un versant, d'un vallon adjacent ou d'une vallée. Ces dépôts forment des terrasses, éventuellement de structure stratifiée s'il y a transport par les eaux, appelées parfois **terrasses de kame**. En anglais, *dammed deposits* ou *kame terraces*..

Eskers : dépôts en forme de longs remblais au tracé sinueux, grossièrement stratifiés, provenant de la sédimentation des débris au contact de la glace dans des conduits sous-glaciaires ou de surface. Très fréquents dans les régions d'inlandsis où ils atteignent des dimensions kilométriques. Anglais : *eskers*

Farine glaciaire : produit de l'abrasion des glaciers sur leur lit, ce sont des limons et argiles en suspension dans les cours d'eau et lacs proches des glaciers, leur donnant une couleur caractéristique vert-laiteux. Favorisent le processus d'abrasion des eauxglaciaires, lesquelles sont connues pour leur potentiel érosif (usure des turbines, formation des canyons sous-glaciaires et des marmites*. La farine glaciaire est aussi à l'origine de dépôts lacustres, qui peuvent prendre un faciés finement stratifié (les **rythmites**).

Glacier froid : glacier dont la glace se trouve à une température inférieure à son point de fusion. L'écoulement des eaux s'y réalise à la surface ou dans la masse du glacier, mais pas sur le lit rocheux. Le lit rocheux est à température négative, si bien que le glacier se déplace surtout par reptation (*creep*,en anglais) et l'érosion à ce niveau est faible. Les marges du glacier comportent un pergélisol (*permafrost*, en anglais). En anglais : *cold glacier*.

Glacier rocheux : masse formée d'un mélange de glace et de blocs se déplaçant dans la pente sur le mode visco-plastique. La proportion de glace, présente à l'état instersitiel et/ou en lentilles plus ou moins épaisses, dépasse 30% dans les appareils actifs. Il s'agit d'un pergélisol formé dans des conditions de températures moyennes de l'air négatives, avec alimentation de la glace par regel des eaux de fonte de la neige dans la masse. Les glaciers rocheux peuvent être des réservoirs d'eau importants, notamment dans les hautes montagnes arides (Andes du Tropique, Tibet).

Glacier tempéré : glacier se trouvant proche de la température de fusion de la glace ; il peut inclure de petites zones de glace froide (à température inférieure à son point de fusion). L'écoulement des eaux s'y réalise préférentiellement au contact du lit rocheux, en particulier lorsqu'on se rapproche du front du glacier. En anglais : *temperate glacier*.

Kettle (ou *keetle hole*) : dépression quasi circulaire occupée par un lac, provenant de la fonte lente de culots de glaces mortes dans la marge glaciaire. Les kettles forment souvent des chapelets de lacs ponctuant les délaissées glaciaires . Terme anglais.

Lac de barrage glaciaire : barrage de l'écoulement des eaux par un vallum morainique frontal continu ou par la moraine d'un glacier adjacent avec formation d'un lac. Ces lacs sont fragiles et peuvent se vidanger brutalement occasionnant des dégâts. En anglais : *moraine* ou *glacier dammed lake*

Lac sous-glaciaire : lac formé sous un glacier, de taille variant de quelques m^2 à 10^4 km^2. En anglais, *subglacial lake*.

Lahars : terme utilisé en Indonésie désignant des coulées de débris assez fluides pour atteindre des vitesses de plusieurs m s^{-1}, provenant de la fusion massive et soudaine de glaces situées au sommet de volcans entrant en éruption. Exemple récent (1985) sur le Nevado del Ruiz dans les Andes de Colombie (30 000 morts) et risques latents en Equateur, Pérou, Chili.

Laves torrentielles : en anglais, rajouter à *mud flow,* **debris flow**, dans un sens légèrement différent (sédiments plus grossiers et hétérométriques). On dit aussi maintenant **flots de debris** en français.

Marmite : cavité creusée par les eaux glaciaires sous pression et chargées de limons (farine glaciaire). En anglais : *pothole* ou *marmite*

Moraine entaillée : moraine ayant retenu un lac et entaillée par une vidange de lac glaciaire. En anglais : *breached moraine*.

Moulin : puits vertical par lequel les eaux de surface du glacier s'engouffrent dans la masse du glacier. En anglais : *moulin*.

Portail : grotte plus ou moins profonde d'où s'écoule le torrent sous-glaciaire au niveau du front du glacier. En anglais : *portal*

Rythmites : dépôts finement stratifiés (laminés) résultant de la sédimentation des produits en suspension dans les cours d'eau et surtout les lacs glaciaires. Selon les débits qui conditionnent la compétence du cours d'eau, les apports sont différenciés granulométriquement et les dépôts sont rythmés. Lorsque le rythme principal est annuel, ces dépôts sont appelées des **varves**, lesquelles sont utilisées comme un moyen d'obtenir des datations absolues. En anglais : *rhythmites*.

Sandur (pluriel **sandar**) : terme islandais désignant un dépôt fluvioglaciaire progradant en aval du front d'un glacier, souvent en forme de cône aplati, formé de chenaux anastomosés très instables, du fait de la forte charge des torrents et de la fréquence des crues. On utilise parfois le terme de **glarier** en français dans le même sens, terme qui ne s'est pas vraiment imposé. Exemple : le Pré de Madame Carle dans le massif des Ecrins (Alpes françaises). En anglais : *sandur* (ou *outwash plain*)

Vidanges glaciaires : vidanges brutale des eaux sous-glaciaires, parfois provoquées par des éruptions volcaniques. On les appelle en Islande des **jökulhaups** : (ex : évenement du Vätnajokul de 1922 : 7,1 km^3 d'eau avec un débit maximum de 5,7 x 10^4 m^3 s^{-1}). Cas des vidanges des lacs proglaciaires, très meurtrières au Pérou (plus de 10 000 morts depuis 2 siècles). Dans les Alpes, les glaciers de Tête Rousse et du Trient (Massif du Mont Blanc), ainsi que celui du Gorner (Valais) ont émis des vidanges, parfois meutrières (75 morts pour le glacier de Tête Rousse en 1892). En anglais : *(glacier) outburst floods*, ou *jökulhaups*.

BF & BP (La Paz, avril 1996)

Dictionnaire des Sciences Hydrologiques

CHANTIER 1997

Les mots et notions suivants constitueront les travaux de la Commission de Terminologie pour l'année 1997.
Les mots sans initiale à leur suite n'ont pas encore été affectés. Les membres du CNFSH intéressés par l'élaboration d'une fiche, affectée ou non, doivent se faire connaitre le plus rapidement possible auprés d'un des membres de la Commission (voir liste en page 2 de couverture).

Cours d'eau (J.P.C)
Déficit d'écoulement
Drainage (J.M)
Eau douce
Evaporation
Evapo-transpiration
Infiltration (J.M)
Interception (C.C)
Jaugeage
Glacier (B.P)
Modèles hydrologiques P.H)
Périodicité/fréquence/probabilité d'occurence
Polluant (JFZ)
Pollution (JFZ)
Régime (JFZ
Réserves utiles
Tarissement (JFZ)
Traceurs
Vidange (JFZ)
Zones humides (E.F)

Les prochaines réunions de la Commission de Terminologie pour l'année 1997 sont programmées aux dates suivantes :

12 février - 9 avril - 18 juin - 24 septembre -2 décembre

Elles ont lieu, à partir de 10H00, au :
Laboratoire de Géologie Appliquée - UPMC -
Tour 26 - 5è étage - salle de réunion 26-0
4, place Jussieu 75252 PARIS cedex 05

MISCELLANEES

Table des matières

I. Les Précurseurs
- La loi de Darcy.... l'original
- Le père FRANCOIS Jean (1582-1668), un hydrologue à découvrir
- Le cycle de l'eau selon Bernard Palissy
- L'eau et son cycle dans la "Théorie de la Terre" de Buffon
- Une tentative de calcul du bilan hydrologique mondial par G.L. Leclers, comte de Buffon

II. L'inondation
- L'inondation d'après le Dictionnaire des Sciences de 1883

III. Histoire des Instruments de mesure
- Petite excursion dans la Grande Encyclopédie de Diderot
- Des premiers pluviomètres, étymologie et histoire
- Premières desciption d'un Ombromètre en 1744
- L'ancêtre du pluviomètre, l'Udomètre de l'Observatoire de Paris
- Extrait d'un cours de Météorologie (L.F.Kaenitz, 1843)
- La mesure de la pluie en 1847
- Extrait de l'"Art de découvrir les sources" de Paramelle (1856)
- Différents pluviomètres utilisés vers 1880
- L'abri des thermomètres de Montsouris au XIXé s.
- Du premier emploi du mot "module" dans les Sciences de l'eau.

IV. Textes divers
- Le sens du mot "hydrologie" en 1753
- De l'existence de cycles en Hydrologie et de l'usage des statistiques.... en 1828
- De l'origine de certaines idées fausses en hydologie au Moyen Age et après
- Le Deluge d'avant le Déluge
- Un curieux mot et une définition savoureuse
- L'Amazone vue par Onésime Reclus, 1886
- L'Hydrologie dans la littérature ou la Littérature-crue
- La dictée de Pivot, 1996 : La Loire
- Petite Revue de Presse

LES PRECURSEURS

H.DARCY (1803-1858)

La LOI de DARCY..... L'ORIGINAL

Tout hydrogéologue connait et a appliqué la Loi de Darcy mais combien d'entre eux ont eu l'occasion de lire la description originale de l'expérience qui est à l'origine de cette loi ?

Cette expérience est décrite dans l'ouvrage de H.Darcy intitulé : "Histoire des Fontaines publiques de Dijon", publié chez Dalmont à Paris en 1856. La fameuse expérience, datant de 1855, y est relatée aux pages 590 à 594 et illustrée d'une figure représentant l'appareil qui servit à l'expérimentation.

Pour le plaisir des anciens et l'édification des plus jeunes, nous reproduisons ci après le texte original de cette belle expérience réellement fondatrice de l'hydrogéologie moderne. Et nous ne résistons pas au plaisir de vous offrir le beau portrait de l'auteur en polytechnicien.

HISTOIRE DES FONTAINES PUBLIQUES DE DIJON

par H. DARCY

Dalmont Ed., PARIS, 1856

Détermination des lois d'écoulement de l'eau à travers le sable.

J'aborde maintenant le récit des expériences que j'ai faites à Dijon de concert avec M. l'ingénieur Charles Ritter, pour déterminer les lois de l'écoulement de l'eau à travers les sables. Les expériences ont été répétées par M. l'ingénieur en chef Baumgarten.

L'appareil employé pl. 24, fig. 3, consistait en une colonne verticale de $2^m 50$ de hauteur, formée d'une portion de conduite de $0^m 35$ de diamètre intérieur, et close à chacune de ses extrémités par une plaque boulonnée.

A l'intérieur, et à $0^m 20$ au-dessus du fond, se trouve une cloison horizontale à

claire-voie, destinée à supporter le sable, et qui divise la colonne en deux chambres. Cette cloison est formée par la superposition de bas en haut d'une grille en fer à barreaux prismatiques de $0^m 007$, d'une grille à barreaux cylindriques de $0^m 005$, enfin d'une toile métallique à mailles de $0^m 002$. L'écartement des barreaux de chacune des grilles est égal à leur épaisseur, et les deux grilles sont disposées de façon que leurs barreaux soient dans des directions perpendiculaires l'une à l'autre.

La chambre supérieure de la colonne reçoit l'eau par un tuyau embranché sur la conduite de l'hôpital, et dont un robinet permet de modérer à volonté le débit; la chambre inférieure s'ouvre par un robinet sur un bassin de jaugeage de 1 mètre de côté.

La pression aux deux extrémités de la colonne est indiquée par des manomètres à mercure en U; enfin chacune des chambres est munie d'un robinet à air, essentiel pour la mise en charge de l'appareil.

Les expériences ont été faites avec du sable siliceux de Saône, composé ainsi qu'il suit :

$0^m 58$ de sable passant au crible de $0^{mil.} 77$
$0^m 13$ — — 1 10
$0^m 12$ — — 2 00
$0^m 17$ de menu gravier, débris de coquilles, etc.

Il présente environ $\frac{38}{100}$ de vide.

Le sable était versé et tassé dans la colonne préalablement remplie d'eau, afin que les vides de la masse filtrante ne continssent plus d'air, et la hauteur du sable n'était mesurée qu'à la fin de chaque série d'expériences, après que le passage de l'eau l'avait convenablement tassé.

Chaque expérience consistait à établir dans la chambre supérieure de la colonne, par la manœuvre du robinet d'amenée, une pression déterminée; puis, lorsque par deux observations l'on s'était assuré que l'écoulement était devenu sensiblement uniforme, on notait le débit du filtre pendant un certain temps et on en concluait le débit moyen par minute.

Pour de faibles charges, le repos presque complet du mercure du manomètre permettait d'apprécier le millimètre, représentant $26^{mil.} 2$ d'eau; lorsqu'on opérait sous de fortes pressions, le robinet d'amenée était presqu'entièrement ouvert, et alors le manomètre, malgré le diaphragme dont il était muni, présentait des oscillations continuelles; néanmoins, les fortes oscillations n'étaient qu'accidentelles, et on pouvait apprécier, à 5 millimètres près, la hauteur moyenne du mercure, c'est-à-dire connaître la pression en eau à $1^m 30$ près.

Toutes ces oscillations manométriques étaient dues aux coups de bélier pro-

duits par le jeu des nombreuses bornes-fontaines de l'hôpital, lieu où était placé l'appareil expérimental.

Toutes les pressions ont été rapportées au niveau de la face inférieure du filtre, et on n'a tenu aucun compte du frottement dans la partie supérieure de la colonne, lequel était évidemment négligeable.

Tableau des expériences faites à Dijon les 29 et 30 octobre et 2 novembre 1855.

NUMÉROS de L'EXPÉRIENCE	DURÉE.	DÉBIT MOYEN par minute	PRESSIONS moyennes.	RAPPORT entre LES VOLUMES ET LA PRESSION.	OBSERVATIONS.
	1re Série, avec une épaisseur de sable de 0m 58.				
	25′	3lit. 60	1.11	3.25	Le sable n'a pas été lavé.
1	20′	7 65	2.36	3.24	
2	15′	12 00	4.00	3.00	
3	18′	14 28	4.90	2.91	La colonne manométrique n'a éprouvé que de faibles mouvements.
4	17′	15 20	5.02	3.03	
5	17′	21 80	7.63	2.86	
6	11′	23 41	8.13	2.88	
7	15′	24 50	8.58	2.85	Oscillations très-sensibles.
8	13′	27 80	9.86	2.82	
9	10′	29 40	10.89	2.70	Fortes oscillations manométriques.
10					
	2me Série, avec une épaisseur de sable de 1m 14.				
1	30′	2 66	2.60	1.01	Le sable n'est pas lavé.
2	21′	4 28	4.70	0.91	
3	26′	6 26	7.71	0.81	
4	18′	8 60	10.34	0.83	
5	10′	8 90	10.75	0.83	Très-fortes oscillations.
6	24′	10 40	12.34	0.84	
	3me Série, avec une épaisseur de sable de 1m 11.				
1	31′	2 13	2.57	0.83	Sable lavé.
2	20′	3 90	5.09	0.77	
3	17′	7 25	9.46	0.76	
4	20′	8 55	12.35	0.69	Très-fortes oscillations.
	4me Série, avec une épaisseur de sable de 1m 10.				
1	20′	5 25	6.98	0.75	Sable lavé d'un grain un peu plus gros que le précédent.
2	20′	7 00	9.95	0.70	Faibles oscillations par suite de l'obturation partielle de l'ouverture du manomèt.
3	20′	10 30	13.93	0.74	

Le tableau des expériences, ainsi que leur représentation graphique, démontrent que le débit de chaque filtre croît proportionnellement à la charge.

Pour les filtres sur lesquels on a opéré, le débit par seconde et par mètre carré est lié très-approximativement à la charge par les relations suivantes :

1re série. . . $Q = 0{,}493\,P$ — 3me — . . . $Q = 0{,}126\,P$

2me — . . . $Q = 0{,}145\,P$ — 4me — . . . $Q = 0{,}123\,P$.

En appelant I la charge proportionnelle par mètre d'épaisseur du filtre, ces formules se transforment dans les suivantes :

1re série. . . $Q = 0{,}286\,I$	3me — . . . $Q = 0{,}216\,I$
2me — . . . $Q = 0{,}165\,I$	4me — . . . $Q = 0{,}332\,I$.

Les différences entre les valeurs du coefficient $\frac{Q}{I}$ proviennent de ce que le sable employé n'a pas été constamment homogène. Pour la 2me série, il n'avait pas été lavé; pour la 3me, il était lavé; pour la 4me, il était très-bien lavé et d'un grain un peu plus fort.

Il paraît donc que, pour un sable de même nature, on peut admettre que le volume débité est proportionnel à la charge et en raison inverse de l'épaisseur de la couche traversée.

Dans les expériences précédentes, la pression sous le filtre a toujours été égale à celle de l'atmosphère; il était intéressant de rechercher si la loi de proportionnalité que l'on vient de reconnaître entre les volumes débités et les charges qui les produisent subsistait encore, lorsque la pression sous le filtre était plus grande ou plus petite que la pression atmosphérique: tel est le but des expériences nouvelles opérées les 17 et 18 février 1856 par les soins de M. Ritter.

Ces expériences sont rapportées dans le tableau synoptique suivant : la colonne 4 donne les pressions sur le filtre; la colonne 5 les pressions sous le filtre, tantôt plus grandes et tantôt plus petites que le poids P de l'atmosphère; la colonne 6 présente les différences des pressions; enfin la colonne 7 indique les rapports des volumes débités aux différences des pressions existant sur et sous le filtre. L'épaisseur de la couche de sable traversée était égale à 1m 10.

NUMÉRO de L'EXPÉRIENCE	DURÉE.	DÉBIT MOYEN par minute.	PRESSION MOYENNE SUR LE FILTRE	PRESSION MOYENNE SOUS LE FILTRE	DIFFÉRENCE des PRESSIONS.	RAPPORT des VOLUMES aux pressions.	OBSERVATIONS.
1	2	3	4	5	6	7	8
		l.	m.	m.	m.		
1	15′	18,8	P + 9,48	P — 3,60	13,08	1,44	Fortes oscillations dans le manomètre supérieur.
2	15′	18,3	P + 12,88	P 0	12,88	1,42	*Id.*
3	10′	18,0	P + 9,80	P — 2,78	12,58	1,43	*Id.*
4	10′	17,4	P + 12,87	P + 0,46	12,41	1,40	Faibles.
5	20′	18,1	P + 12,80	P + 0,49	12,35	1,47	Assez faibles.
6	16′	14,9	P + 8,86	P — 0,83	9,69	1,54	Presque nulles.
7	15′	12,1	P + 12,84	P + 4,40	8,44	1,43	Très-fortes.
8	15′	9,8	P + 6,71	P 0	6,71	1,46	Très-faibles.
9	20′	7,9	P + 12,81	P + 7,03	5,78	1,37	Très-fortes.
10	20′	8,65	P + 5,58	P 0	5,58	1,55	Presque nulles.
11	20′	4,5	P + 2,98	P 0	2,98	1,51	*Id.*
12	20′	4,15	P + 12,86	P + 9,88	2,98	1,39	Assez fortes. On a déjà expliqué la cause de ces oscillations.

La constance des rapports de la 7e colonne témoigne de la vérité de la loi déjà énoncée : on remarquera cependant qu'ici encore les pressions sur et sous le filtre comprennent des limites très-étendues : sous le filtre, en effet, la pression a varié de P+9,88 à P−3,60, et sur le filtre de P+12,88 à P+2,98.

Ainsi, en appelant e l'épaisseur de la couche de sable, s sa superficie, P la pression atmosphérique, h la hauteur de l'eau sur cette couche, on aura P+h pour la pression à laquelle sera soumise la base supérieure; soient, de plus, P$\pm h_0$ la pression supportée par la surface inférieure, k un coefficient dépendant de la perméabilité de la couche, q le volume débité, on a

$$q = k\frac{s}{e}[h + e \mp h_0] \text{ qui se réduit à } q = k\,\frac{s}{e}(h+e)$$

quand $h_0 = 0$, ou lorsque la pression sous le filtre est égale à la pression atmosphérique.

Il est facile de déterminer la loi de décroissance de la hauteur d'eau h sur le filtre; en effet, soit dh la quantité dont cette hauteur s'abaisse pendant un temps dt, sa vitesse d'abaissement sera $-\frac{dh}{dt}$; mais l'équation ci-dessus donne encore pour cette vitesse l'expression

$$\frac{q}{s} = v = \frac{k}{e}(h+e)$$

On aura donc $-\frac{dh}{dt} = \frac{k}{e}(h+e)$; d'où $\frac{dh}{(h+e)} = -\frac{k}{e}\,dt$,

et $$l(h+e) = C - \frac{k}{e}t.$$

Si la valeur h_0 correspond au temps t_0 et h à un temps quelconque t, il viendra

$$l(h+e) = l(h_0+e) - \frac{k}{e}[t - t_0] \qquad (1)$$

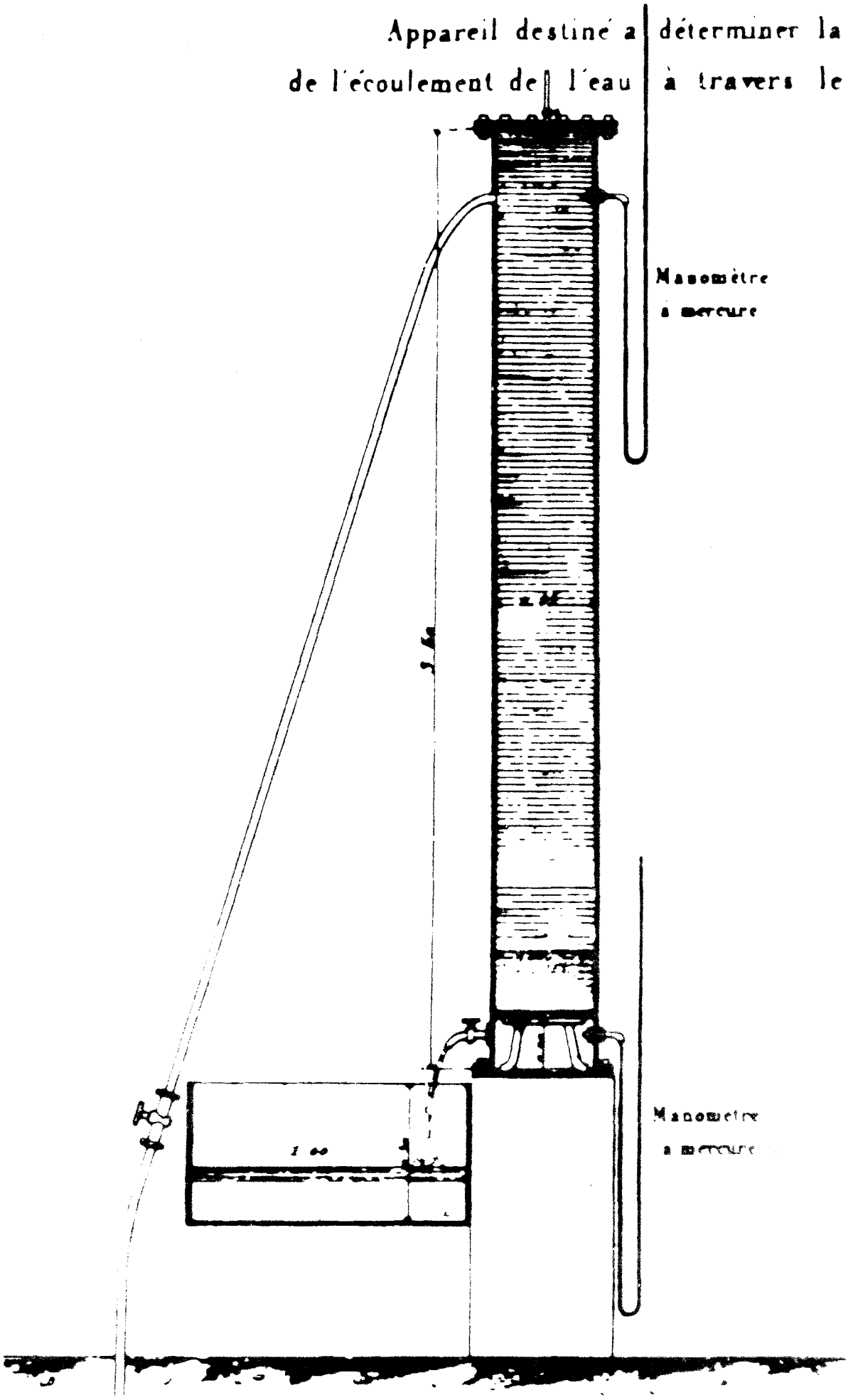
Si on remplace maintenant $h+e$ et h_0+e par $\frac{qe}{sk}$ et $\frac{q_0 e}{sk}$, il viendra

$$lq = lq_0 - \frac{k}{e}(t - t_0) \qquad (2)$$

et les deux équations (1) et (2) donnent, soit la loi d'abaissement de la hauteur sur le filtre, soit la loi de variation des volumes débités à partir du temps t_0.

Si k et e étaient inconnus, on voit qu'il faudrait deux expériences préliminaires pour faire disparaître de la seconde le rapport inconnu $\frac{k}{e}$.

Appareil destiné à déterminer la loi
de l'écoulement de l'eau à travers le sable



Le Père FRANCOIS Jean (1582-1668)

un hydrologue à découvrir

Après Castelli dont nous avons publié cette année le "Traité de la mesure des eaux courantes" (1664), nous vous présentons un auteur français qui lui est comtemporain et dont l'oeuvre fera l'objet en 1997 d'un fascicule de notre série des "Textes fondateurs de l'hydrologie".

Jean FRANCOIS est né en Franche-Comté, à Saint-Claude, en 1582; il est mort à Rennes le 20 janvier 1668. Il rentra dans les ordres et professa les mathématiques dans plusieurs colléges de la Compagnie de Jésus. Il fut, entre autres, le maitre de Descartes qui garda toujours pour lui un grand attachement.

On a conservé de lui plusieurs ouvrages de mathématique et de géographie et un traité intitulé "La science des Eaux qui explique en quatre parties leur formation, communication, mouvemens et meslanges; avec les arts de conduire les eaux et mesurer la grandeur tant des eaux que des terres". Le livre a été publié à Rennes en 1665 juste un an après l'ouvrage de Castelli dont il ne dut pas avoir connaissance.

L'ouvrage est relativement important (348 pages) et se compose de plusieurs mémoires d'intêret et de longueur divers ce qui explique que nous ne serons pas à même de le republier en entier et que certainement nous nous contenterons de vous présenter les parties les plus intéressantes pour l'histoire de l'hydrologie.

On notera que, peut être pour la première fois, l'expression "Science des Eaux" apparait dans la littérature scientifique française.

Aujourd'hui nous vous présentons le synopsis de l'ouvrage à partir des titres des différents mémoires et des têtes de chapitre afin de vous donner envie de vous plonger dans ce passionnant travail.

J.P.C.

LA SCIENCE DES EAUX

qui explique en quatre parties leur formation, communication, mouvemens & meslanges; avec les arts de conduire les eaux & mesurer la grandeur tant des eaux que des terres

qui sont

1 De conduire toute sorte de fontaines
2 De niveler toute sorte de pente
3 De faire monter l'eau sur sa source
4 De contretirer toute sorte de plans
5 De connoistre toute hauteur verticale & longueur horizontale
6 D'arpenter toute surface terrestre
7 De compter tout nombre avec la plume et les jettons

LA Science de la GEOGRAPHIE

par le P. Jean FRANCOIS, de la Compagnie de Jésus

à Rennes & se vend
à PARIS
chez Sebastien Piquet, au Palais, dans la Gallerie
des Prisonniets à la Victoire

M. DC. LIV

Contenu du volume (réf. : BN cote V.9819)

A Messieurs des Estats de Bretagne (5 p. non numérotées)

Armoirie des Estats de Bretagne (1 p.)

Table des matières contenues en ce livre (6p. non numérotées)

L'Hydrographie c'est à dire la Science des Eaux & des sources naturelles jointe avec les arts & les conduites des Eaux.

Préface (2 p.)

1er Partie : La Science des Eaux & des Sources Naturelles

Chap. I : La manière dont la nature se sert pour former les eaux & les sources (p.1-32)

2éme Partie : La Science des Eaux & de leur communication

Chap.II : de la communication diverse des eaux (p.34-47)

Chap.III: de la communication des feux cause necessaire pour la communication des eaux (p.48-55)

3éme Partie : De la Science des Eaux & de leur mouvemens particulier (p.55-56)

Chap.IV : Des mouvements particuliers dans l'Océan (p. 56-82)

Chap.VI (erreur V): Des rivières, lacs et fontaines qui ont des flux & reflux & autres mouvemens extraordinaires (p. 82-88)

(manque numérotation de 89 à 97)

4éme Partie : La Science des Eaux & de leurs divers mélanges & temperamens (p.97)

Chap. VI : Des eaux de divers qualités & particulièrement des chaudes (p. 98-105)

Chap. VIII (erreur VII) : Des eaux & des sources salées (p.105-112)

Chap. IX : Des eaux minérales (p.112-120)

L'art & la conduite des eaux & des fontaines artificielles

Préface (p.1-4)

Chap. I : Des eaux de la source (p. 4-19)

Chap. II: Des canaux artificiels (p. 19-31)

Chap.III: Des divers obstacles & empechemens que le cours de l'eau reçoit dans les tuiaux & des remèdes qu'on y doit apporter (p.31-39)

Chap. IV: De la sortie & distribution des eaux des fontaines (p.39-40)

L'art de niveler & de connaitre la hauteur ou profondeur de chaque lieu proposé tant de jour que de nuit

Préface (p.1)

1er Partie : Du niveau & de son usage (p.2-13)

2éme Partie: Practiques et applications de l'usage du niveau sur des sujets particuliers (p.13-24)

L'art de faire monter l'eau par dessus sa source par toutes sortes d'élémens & de vertus motives

Préface (p.1-2)

Chap. I : Proposition fondamentale de ce traité (p.2-8)

" Toute liqueur homogénée & partant l'eau estant enfermée en un tuyau recourbé, monte jusques à la hauteur de sa source par sa seule vertu : & ne peut passer cette hauteur que par une autre vertu & différente de l'eau contenuë dans le tuyau"

Chap. II: Le moyen de faire monter l'eau sur sa source par la lumière solaire & de se servir de celle que la mesme lumière a élevée (p.8-9)

Chap.III: Le moyen de faire monter l'eau sur sa source par le moyen du feu & de la chaleur (p.9-12)

Chap.III (erreur IV): Manière de faire monter l'eau par le moyen de l'air (p.13-14)

Chap. IV (erreur V) : Les moyens de faire monter l'eau sur sa source par l'eau mesme (p.15-19)

Chap. V (erreur VI) : Le moyen d'elever l'eau sur sa source par la Terre & par les vertus motives qui s'y trouvent (p.19-34)

L'art et la manière de contretirer toute sorte de plans. Des lacs, forests, prairies, provinces & de toutes autres étendues de terre & d'eau, & en faire des cartes geographiques, hydrographiques, chorographiques, topographiques (p.35-41)

L'art et la manière de connoistre les hauteurs verticales & autres longueurs des corps terrestres par le rayon celeste ou visuel, soit le jour au soleil, soit la nuit aux étoiles; & c'est ou sans instrument géométrique, ny opération arithmétique, ou par régles géométriques et supputations arithmétiques (p.42-56)

L'art d'arpenter toute sorte de surface terrestre tant de loing que de près

Avis au lecteur (p.1-2)

Chap. I : Dispute sur la première réduction (p.3-8)

Chap. II: Practique du premier point qui consiste à l'observation de la figure et contient l'art et le moyen de contretirer toute sorte de plan (p.8-19)

Chap.III: Pratique du second point qui consiste à une triple réduction de la figure observée (p.19-22)

Chap. IV: Practique du troisième point qui consiste à mesurer la figure réduite (p.23-28)

Avant-propos (2p. sans numérotation)

Chap.I : Des principes de l'Arithmètique (p.1-12)

Chap. II: L'Arithmétique des nombres entiers (p.12-26)

Chap.III: L'Arithmètique des nombres rompus (p.27-37)

Chap. IV: Des proportions et des nombres considerez relativement (p.38-53)

Chap. V: Des régles des proportions (p.53-68)

FIN

Le cycle de l'eau selon Bernard PALISSY

Traité des Eaux et Fontaines

Extrait de M.M.Michel (1951) - Bernard Palissy, hydrologue et géologue, études historiques et critiques. Thèse Univ. Bordeaux, Fac. de Pharmacie, Imprim. Delmas, Bordeaux.

C'est à propos de l'origine des sources que PALISSY fera réflexion sur les phases du cycle de l'eau dans la nature. Le circuit nous apparaît si simple qu'il fait à nos yeux figure de vérité première : évaporation à la surface des océans, des cours d'eau, de la terre; constitution en nuages ou brouillards; résolution en précipitations qui ruissellent ou pénètrent dans le sol, puis retournent à la mer en circulation libre ou souterraine. Tel se présente le schéma dont nous relevons les éléments dans les écrits de l'auteur.

Il parle des « nuées eslevées de l'eau de la mer » (1); « des pluyes tant des eaux qui sont eslevées de la mer que de la terre et toutes les choses humides lesquelles en desséchant les vapeurs aqueuses sont eslevées en haut pour tomber derechef » (2). Il dit encore : « pareillement, les eaux des pluyes qui tombent en hyver remontent en esté pour retourner encore en hyver et les eaux et la réverbération du soleil et la siccité des vens frappans contre terre fait eslever grande quantité d'eau estant rassemblée en l'air et formée en nuées » (3). Il insiste sur l'action adjuvante des vents : « Et les vens poussant les dites vapeurs, les eaux retombent par toutes les parties de la terre et quand il plaist à Dieu que ces nuées (qui ne sont autre chose qu'un amas d'eau) se viennent à dissoudre, lesdites vapeurs sont converties en pluyes qui tombent sur la terre. » (4) ... En somme, « les eaux ne cessent de monter et descendre... d'aller et venir ainsi que Dieu leur a commandé » (5).

---

(1) E. F., 202.
(2) *Ibid.*, 203-204.
(3) *Ibid.*, 201.
(4) *Ibid.*, 201.
(5) *Ibid.*, 204.

L'eau et son cycle dans la "Théorie de la terre" de Buffon

"..... Mais ce qui produit les changemens les plus grands et les plus généraux sur la surface de la terre, ce sont les eaux du ciel, les fleuves, les rivières et les torrens. Leur première origine vient des vapeurs que le soleil élève au dessus de la surface des mers, et que les vents transportent dans tous les climats de la terre: ces vapeurs, soutenues dans les airs et poussées au gré du vent, s'attachent aux sommets des montagnes qu'elles rencontrent, et s'y accumulent en si grande quantité, qu'elles y forment continuellement des nuages; et retombent incessamment en forme de pluie, de rosée, de brouillard ou de neige. Toutes ces eaux sont d'abord descendues dans les plaines sans tenir de route fixe: mais peu à peu elles ont creusé leur lit, et, cherchant par leur pente naturelle les endroits les plus bas de la montagne et les terrains les plus faciles à diviser ou à pénétrer, elles ont entraîné les terres et les sables; elles ont formé des ravines profondes en coulant avec rapidité dans les plaines; elles se sont ouvert des chemins jusqu'à la mer, qui reçoit autant d'eau par ses bords qu'elle en perd par l'évaporation: et de même que les canaux et les ravines que les fleuves ont creusés ont des sinuosités et des contours dont les angles sont correspondans entre eux, en sorte que l'un des bords formant un angle saillant dans les terres, le bord opposé fait toujours un angle rentrant, les montagnes et les collines, qu'on doit regarder comme les bords des vallées qui les séparent, ont aussi des sinuosités correspondantes de la même façon; ce qui semble démontrer que les vallées ont été les canaux des courans de la mer, qui les ont creusés peu à peu et de la même manière que les fleuves ont creusé leur lit dans les terres.

Les eaux qui roulent sur la surface de la terre, et qui entretiennent la verdure et la fertilité, ne sont peut être que la plus petite partie de celles que les vapeurs produisent ; car il y a des veines d'eau qui coulent et de l'humidité qui se filtre à de grandes profondeurs dans l'intérieur de la terre. Dans de certains lieux, en quelque endroit qu'on fouille, on est sûr de faire un puits et de trouver de l'eau; dans d'autres on n'en trouve point du tout: dans presque tous les vallons et les plaines basses on ne manque guère de trouver de l'eau à une profondeur médiocre; au contraire, dans tous les lieux élevés et dans toutes les plaines en montagne, on ne peut en tirer du sein de la terre, et il faut ramasser les eaux du ciel. Il y a des pays d'une vaste étendue où l'on n'a jamais pu faire un

puits, et où toutes les eaux qui servent à abreuver les habitans et les animaux sont contenues dans des mares et des citernes. En orient, surtout dans l'Arabie, dans l'Egypte, dans la Perse, etc., les puits sont extrêmement rares, aussi bien que les sources d'eau douce; et ces peuples ont été obligés de faire de grands réservoirs pour recueillir les eaux des pluies et des neiges: ces ouvrages, faits pour la nécessité publique, sont peut être les plus beaux et les plus magnifiques monumens des Orientaux; il y a des réservoirs qui ont jusqu'à deux lieues de surface, et qui servent à arroser et à abreuver une province entière, au moyen des saignées et des petits ruisseaux qu'on en dérive de tous côtés. Dans d'autres pays, au contraire, comme dans les plaines où coulent les grands fleuves de la Terre, on ne peut pas fouiller un peu profondément sans trouver de l'eau; et dans un camp situé aux environs d'une rivière, souvent chaque tente à son puits au moyen de quelques coups de pioche.

Cette quantité d'eau qu'on trouve partout dans les lieux bas vient des terres supérieures et des collines voisines, au moins pour la plus grande partie: car, dans le temps des pluies et de la fonte des neiges, une partie des eaux coule sur la surface de la terre, et le reste pénètre dans l'intérieur à travers les petites fentes des terres et des rochers; et cette eau sourcille en différens endroits lors qu'elle trouve des issues, ou bien elle se filtre dans les sables; et lorsqu'elle vient à trouver un fond de glaise ou de terre ferme et solide, elle forme des lacs, des ruisseaux, et peut être des fleuves souterrains dont le cours et l'embouchure nous sont inconnus, mais dont cependant, par les lois de la nature, le mouvement ne peut se faire qu'en allant d'un lieu plus élevé dans un lieu plus bas, et par conséquent ces eaux souterraines doivent tomber dans la mer, ou se rassembler dans quelque lieu bas de la terre, soit à la surface, soit dans l'intérieur du globe; car nous connaissons sur la terre quelques lacs dans lesquels il n'entre et desquels il ne sort aucune rivière, et il y en a un nombre beaucoup plus grand qui, ne recevant aucune rivière considérable, sont les sources des plus grands fleuves de la terre, comme les lacs du fleuve Saint-Laurent, les lacs de Wollaston, de Winnipeg et autres, dans le Nord de l'Amérique septentrionale, la plus grande partie des lacs de Russie, etc., et une infinité d'autres qui semblent être les réservoirs d'où la nature verse de tous côtés les eaux qu'elle distribue sur la surface de la terre. On voit bien que ces lacs ne peuvent être produits que par des eaux des terres supérieures qui coulent par de petits canaux souterrains en se filtrant à travers les graviers et les sables, et viennent toutes se rassembler dans les lieux les plus bas où se trouvent ces grands amas d'eau. Au reste, il ne faut pas croire, comme quelques gens l'ont avancé, qu'il se trouve des lacs au sommet des plus hautes montagnes; car ceux qu'on trouve dans les Alpes et dans les autres lieux hauts, sont tous surmontés par des terres beaucoup plus hautes, et sont au pied d'autres montagnes peut être plus élevées que les premières: ils tirent leur origine des eaux qui coulent à

l'extérieur ou se filtrent dans l'intérieur de ces plaines tirent leur source des collines voisines et des terres plus éloignées qui les surmontent.

Il doit donc se trouver, et il se trouve en effet dans l'intérieur de la terre, des lacs et des eaux répandues, surtout au dessous des plaines et des grandes vallées: car les montagnes, les collines et toutes les hauteurs qui surmontent les terres basses, sont découvertes tout autour, et présentent dans leur penchant une coupe ou perpendiculaire ou inclinée, dans l'étendue de laquelle les eaux qui tombent sur le sommet de la montagne et sur les plaines élevées, après avoir pénétré dans les terres, ne peuvent manquer de trouver issue et de sortir de plusieurs endroits en forme de sources et de fontaines; et par conséquent il n'y aura que peu ou point d'eau sous les montagnes. Dans les plaines, au contraire, comme l'eau qui se filtre dans les terres ne peut trouver d'issue, il y aura des amas d'eau souterrains dans les cavités de la terre, et une grande quantité d'eau qui suintera à travers les fentes des glaises et des terres fermes, ou qui se trouvera dispersée et divisée dans les graviers et dans le sables. C'est cette eau qu'on trouve partout dans les lieux bas. Pour l'ordinaire, le fonds d'un puits n'est autre chose qu'un petit bassin dans lequel les eaux qui suintent des terres voisines se rassemblent en tombant d'abord goutte à goutte, et ensuite en filets d'eau continus, lorsque les routes sont ouvertes aux eaux les plus éloignées; en sorte qu'il est vrai de dire que quoique dans les plaines basses on trouve de l'eau partout, on ne pourrait cependant y faire qu'un certain nombre de puits, proportionné à la quantité d'eau dispersée, ou plutôt à l'étendue des terres plus élevées d'où ces eaux tirent leur source.

Dans la plupart des plaines, il n'est pas nécessaire de creuser jusqu'au niveau de la rivière pour avoir de l'eau; on la trouve ordinairement à une moindre profondeur, et il n'y a pas d'apparence que l'eau des fleuves et des rivières s'étende loin en se filtrant à travers les terres. On ne doit pas non plus leur attribuer l'origine de toutes les eaux qu'on trouve au-dessous de leur niveau dans l'intérieur des terres; car dans les torrens, dans les rivières qui tarissent, dans celles dont on détourne le cours, on ne trouve pas, en fouillant dans leur lit, plus d'eau qu'on en trouve dans les terres voisines. Il ne faut qu'une langue de terre de cinq ou six pieds d'épaisseur pour contenir l'eau et l'empêcher de s'échapper; et j'ai souvent observé que les bords des ruisseaux et des mares ne sont pas sensiblement humides à six pouces de distance. Il est vrai que l'étendue de la filtration est plus ou moins grande, selon que le terrain est plus ou moins pénétrable; mais si l'on examine les ravines qui se forment dans les terres et même dans les sables, on reconnaîtra que l'eau passe toute dans le petit espace qu'elle se creuse elle même, et qu'à peine les bords sont mouillés à quelques pouces de distance dans ces sables.

Dans les terres végétales même, ou la filtration doit être beaucoup plus grande que dans les sables et dans les autres terres, puisqu'elle est aidée de la force du tuyau capillaire , on ne s'aperçoit pas qu'elle s'étende fort loin.
Dans un jardin on arrose abondamment, et on inonde, pour ainsi dire, une planche, sans que les planches voisines s'en ressentent considérablement. J'ai remarqué, en examinant de gros monceaux de terre de jardin de huit à dix pieds d'épaisseur, qui n'avaient pas été remués depuis quelques années, et dont le sommet était à peu près de niveau, que l'eau des pluies n'a jamais pénétré à plus de trois ou quatre pieds de profondeur; en sorte qu'en remuant cette terre au printemps après un hiver fort humide, j'ai trouvé la terre de l'intérieur de ces monceaux aussi sèche que quand on l'avait amoncelée. J'ai fait la même observation sur des terres accumulées depuis près de deux cents ans; au dessous de trois ou quatre pieds de profondeur, la terre était aussi sèche que la poussière. Ainsi l'eau ne se communique ni ne s'étend pas aussi loin qu'on le croit par la seule filtration; cette voie n'en fournit dans l'intérieur de la terre que la plus petite partie; mais depuis la surface jusqu'à de grandes profondeurs, l'eau descend par son propre poids; elle pénètre par des conduits naturels ou par de petites routes qu'elle s'est ouvertes elle-même; elle suit les racines des arbres, les fentes des rochers, les interstices des terres, et se divise et s'étend de tous côtés en une infinité de petits rameaux et de filets, toujours en descendant, jusqu'à ce qu'elle trouve une issue après avoir rencontré la glaise ou un terrain solide sur lequel elle s'est rassemblée.

Il serait fort difficile de faire une évaluation un peu juste de la quantité des eaux souterraines qui n'ont point d'isue apparente. Bien des gens ont prétendu qu'elle surpassait de beucoup celle de toutes les eaux qui sont à la surface de la terre; et sans parler de ceux qui ont avancé que l'intérieur du globe était absolument rempli d'eau, il y en a qui croient qu'il y a une infinité de fleuves, de ruisseaux, de lacs, dans la profondeur de la terre; mais, cette opinion, quoique commune, ne me parait pas fondée, et je crois que la quantité des eaux souterraines qui n'ont point d'issue à la surface du globe n'est pas considérable; car s'il y avait un si grand nombre de rivières souterraines, pourquoi ne verrions-nous pas à la surface de la terre les embouchures de quelques-unes de ces rivières, et par conséquent des sources grosses comme des fleuves?
D'ailleurs, les rivières et toutes les eaux courantes produisent des changemens très-considérables à la surface de la terre; elles entraînent les terres, creusent les rochers, déplacent tout ce qui s'oppose à leur passage. Il en serait de même des fleuves souterrains; ils produiraient des altérations sensibles dans l'intérieur du globe. Mais on n'y a point observé de ces changemens produits par le mouvement des eaux; rien n'est déplacé: les couches parallèles et horizontales subsistent partout; les dfférentes matières gardent partout leur position primitive, et ce n'est qu'en

fort peu d'endroits qu'on a observé quelques veines d'eau souterraines un peu considérables. Ainsi l'eau ne travaille point en grand dans l'intérieur de la terre; mais elle y fait bien de l'ouvrage en petit: comme elle est divisée en une infinité de filets, qu'elle est retenue par autant d'obstacles, et enfin qu'elle est dispersée presque partout, elle concourt immédiatement à la formation de plusieurs substances terrestres qu'il faut distinguer avec soin des matières anciennes, et qui en effet en diffèrent totalement par leur forme et par leur organisation.

Ce sont donc les eaux rassemblées dans la vaste étendue des mers qui, par le mouvement continuel du flux et du reflux, ont produit les montagnes, les vallées, et les autres inégalités de la terre; ce sont les courans de la mer qui ont creusé les vallons et élevé les collines en leur donnant des directions correspondantes; ce sont ces mêmes eaux de la mer qui, en transportant les terres, les ont disposées les unes sur les autres par lits horizontaux; et ce sont les eaux du ciel qui peu à peu détruisent l'ouvrage de la mer, qui rabaissent continuellement la hauteur des montagnes, qui comblent les vallées, les bouches des fleuves et les golfes, et qui, ramenant tout à niveau, rendront un jour cette terre à la mer, qui s'en emparera successivement, en laissant à découvert de nouveaux continens entrecoupés de vallons et de montagnes, et tout semblables à ceux que nous habitons aujourd'hui."

Extrait de **Oeuvres complètes de Buffon** - Histoire de la Terre. Nelle Edition, Lecointe Ed., Paris, 1830, tome 1, p.64-75 (réf Biblio.Muséum: 223.535)

UNE TENTATIVE DE CALCUL DU BILAN HYDROLOGIQUE MONDIAL

par

Georges Louis LECLERC, comte de BUFFON (107-1788)

Pour savoir à peu près la quantité d'eau que la mer reçoit par tous les fleuves qui y arrivent, supposons que la moitié du globe soit couverte par la mer, et que l'autre moitié soit terre sèche, ce qui est assez juste; supposons aussi que la moyenne profondeur de la mer, en la prenant dans toute son étendue, soit d'un quart de mille d'Italie, c'est-à-dire d'environ 230 toises : la surface de toute la terre étant de 170,981,012 milles, la surface de la mer est de 85,490,506 milles carrés, qui étant multipliés par $\frac{1}{4}$, profondeur de la mer, donnent 21,372,626 milles cubiques pour la quantité d'eau contenue dans l'Océan tout entier. Maintenant, pour calculer la quantité d'eau que l'océan reçoit des rivières, prenons quelque grand fleuve dont la vitesse et la quantité d'eau nous soient connues; le Pô, par exemple, qui passe en Lombardie, et qui arrose un pays de 380 milles de longueur, suivant Riccioli : sa largeur, avant qu'il se divise en plusieurs bouches pour tomber dans la mer, est de cent perches de Bologne, ou de mille pieds, et sa profondeur de dix pieds; sa vitesse est telle, qu'il parcourt 4 milles dans une heure : ainsi le Pô fournit à la mer 200,000 perches cubiques d'eau en une heure, ou 4,800,000 dans un jour. Mais un mille cubique contient 125,000,000 perches cubiques : ainsi il faut vingt-six jours pour qu'il porte à la mer un mille cubique d'eau. Reste maintenant à déterminer la proportion qu'il y a entre la rivière du Pô et toutes les rivières de la terre prises ensemble, ce qu'il est impossible de faire exactement; mais pour le savoir à peu près, supposons que la quantité d'eau que la mer reçoit par les grandes rivières dans tous les pays, soit proportionnelle à l'étendue et à la surface de ces pays, et que par conséquent le pays arrosé par le Pô et par les rivières qui y tombent, soit à la surface de toute la terre sèche en même proportion que le Pô est à toutes les rivières de la terre. Or par les cartes les plus exactes le Pô, depuis sa source jusqu'à son embouchure, traverse un pays de 380 milles de longueur, et les rivières qui y tombent de chaque côté viennent de sources et de rivières qui sont à environ 60 milles de distance du Pô : ainsi ce fleuve et les rivières qu'il reçoit arrosent un pays de 380 milles de long et de 120 milles de large; ce qui fait 45,600 milles carrés. Mais la surface de toute la terre sèche est de 85,490,506 milles carrés; par conséquent la quantité d'eau que toutes les rivières portent à la mer, sera 1874 fois plus grande que la quantité que le Pô lui fournit : mais comme vingt-six rivières comme le Pô fournissent un mille cubique d'eau à la mer par jour, il s'ensuit que dans l'espace d'un an 1874 rivières comme le Pô fourniront à la mer 26,308 milles cubiques d'eau, et que dans l'espace de 812 ans toutes ces rivières fourniraient à la mer 21,372,626 milles cubiques d'eau, c'est-à-dire autant qu'il y en a dans l'océan, et que par conséquent il ne faudrait que 812 ans pour le remplir.

Il résulte de ce calcul, que la quantité d'eau que l'évaporation enlève de la surface de la mer, que les vents transportent sur la terre, et qui produit tous les ruisseaux et tous les fleuves, est d'environ 245 lignes, ou de 20 à 21 pouces par an, ou d'environ les deux tiers d'une ligne par jour : ceci est une très-petite évaporation, quand même on la doublerait ou triplerait, afin de tenir compte de l'eau qui retombe sur la mer, et qui n'est pas transportée sur la terre. Voyez sur ce sujet l'écrit de Halley dans les *Transactions pihlosophiques*, n° 192, où il fait voir évidemment et par le calcul, que les vapeurs qui s'élèvent au-dessus de la mer, et que les vents transportent sur la terre, sont suffisantes pour former toutes les rivières, et entretenir toutes les eaux qui sont à la surface de la terre.

Extrait de: Histoire de la Terre, t.3, X (Des Fleuves), nouvelle édit., Paris Lecointre Edit., 1830

77. — Asnières - Les Inondations de Janvier 1910
Quai d'Asnières - La Promenade
B. F., PARIS
CARROSSERIE
A PÉTROLE

L'INONDATION d'après le Dictionnaire des Sciences de 1883

INONDATIONS DES FLEUVES ET DES RIVIÈRES, ET MOYENS DE LES PRÉVENIR. — Les inondations n'ont jamais d'autre origine que les pluies du ciel trop promptement écoulées dès qu'elles tombent, ou les fontes de neiges. Le problème à résoudre consiste donc à prévenir ou régler cet écoulement, chose que la science a rendue facile, en posant pour bases trois principes d'observation : 1° la quantité exacte d'eau pluviale qui tombe annuellement dans le bassin de fleuve que l'on doit préserver ; 2° la nature des terrains, et leurs qualités plus ou moins absorbantes ; 3° les moyens factices à employer, les travaux d'art à exécuter pour aménager les eaux, ce qui conservera aux rivières un régime à peu près constant en toute saison. Le célèbre principe de Lavoisier : « Rien ne se crée, rien ne se perd, » est aussi juste pour la pluie versée par les nuages, que pour les autres substances de la nature : sa quantité moyenne annuelle est toujours la même, bien qu'elle puisse varier dans un même jour ou une même série de jours d'une année à l'autre.

On sait généralement que le moyen de connaître combien la pluie verse de mètres cubes d'eau par an dans une contrée, consiste à avoir un bassin, d'un certain nombre de mètres carrés superficiels, placé dans une cour (voyez UROMÈTRE), et après chaque pluie, grande ou petite, d'y mesurer combien il en a reçu par mètre. On conclut de cette superficie à celle du bassin géographique, et la moyenne donne une résultante générale qui approche autant que possible de la vérité. Prenons pour exemple, le bassin de la Seine, en amont de Paris : sa superficie est de 44 000 kilomètres carrés, et l'on a calculé qu'il y tombe annuellement 28 milliards de mètres cubes de pluie ! Déduisons environ 50 pour 100 enlevés par l'évaporation, il reste 14 milliards de mètres, qui approvisionnent tous les cours d'eau de ce bassin pendant un an, et dont il faut régler l'écoulement qui, trop prompt cause les désastres de l'inondation, et prépare la baisse sensible, ou même l'épuisement de l'eau pendant les chaleurs de l'été.

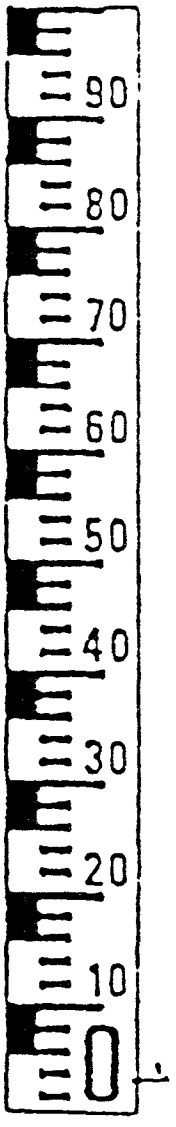
Des travaux à faire suivant la nature des terrains. — Ici encore, nous prendrons un exemple, toujours plus concluant qu'un exposé théorique. Le bassin en amont de Paris, dont nous parlions tout à l'heure, se compose de *terrains granitiques et jurassiques*, peu perméables ; et de *terrains oolitiques*, c'est-à-dire composés de coquilles pétrifiées, très-perméables. Les caractères de ces deux sortes de terrains se manifestent souvent dès leur superficie : une vallée est-elle ouverte dans des terrains granitiques, presque toujours un ravin en occupe le fond, quand même elle n'aurait que quelques hectares de superficie ; ses versants sont-ils oolitiques, on n'y voit ni ravin, ni ruisseau ; ce dernier fait a été observé dans des vallées de 100 à 200 kilomètres de superficie. S'il y a un ruisseau, il est produit par une source abondante, mais il décroît à mesure que son cours s'allonge, et le sol finit presque toujours par l'absorber entièrement. Malgré ces indices, c'est toujours par le sondage que l'on obtient une connaissance exacte d'un terrain.

Les terrains granitiques forment le quart du bassin de la haute Seine, et se développent en une longue bande courant du S.-O. au N.-E., entre Clamecy (Nièvre) et Chaumont (Haute-Marne), sur une longueur de 160 kilomètres, et une largeur de 70. Cette contrée est sujette aux inondations. Les moyens d'y remédier seraient d'abord de faire des prairies sur les pentes fortement inclinées, l'herbe retardant le mouvement des eaux, et favorisant ainsi leur introduction dans les fissures de la masse solide du granit : ces terrains, d'ailleurs, ont toujours vers leurs sommets, de nombreuses petites sources qui les rendent très-favorables à cette culture, on pourrait traiter aussi 1000 kilomètres carrés environ de terres arables situées sur des pentes fortement inclinées. Le complément obligé de cette mesure serait l'établissement, sur divers points, d'un certain nombre de réservoirs représentant ensemble 1 700 hectares de superficie, pour emmagasiner une partie des grandes eaux : on empêcherait ainsi le débordement des rivières, et, plus tard, les bassins apporteraient un secours très-efficace à ces mêmes cours d'eau qui, dans ces terrains granitiques, baissent considérablement en été. Dans le Morvan (départements de la Nièvre et de l'Yonne) tous les cours d'eau secondaires sont alimentés, pendant les sécheresses, par de nombreux étangs répartis dans le pays.

Une opinion généralement répandue, que plusieurs ingénieurs ont appuyée de leur autorité, et qui même a provoqué la loi du 28 juillet 1860 sur le reboisement des montagnes, c'est que pour remédier aux inondations et régulariser le régime des rivières et des fleuves, il suffirait de reboiser certaines contrées, et particulièrement les versants des cours d'eau de quelque importance. Certes le reboisement ne peut produire que de bons effets, mais il ne sera jamais qu'une mesure extrêmement insuffisante dans les terrains granitiques ; car, on ne saurait trop le répéter, c'est la constitution intérieure du sol qui fait que les eaux ou s'écoulent promptement, ou vont s'emmagasiner dans la terre pour contribuer à l'alimentation régulière des sources. Les plantations ne peuvent que retarder un peu l'écoulement des eaux pluviales, et surtout diminuer l'évaporation. Voici, à l'appui de nos assertions, des faits rapportés par M. l'ingénieur Belgrand : Les 15, 16, 17 et 18 octobre 1845, il est tombé dans le bassin de la haute Seine une quantité d'eau énorme, équivalant presque au tiers de ce qui tombe en un an sur Paris. Cependant la crue de la Seine, dans cette ville, a été insignifiante, parce que la pluie se déversa sur une superficie de 11 000 kilomètres, carrés, dont 8 000 sont oolitiques, et 3 000 seulement granitiques. Dans une vallée de cette dernière espèce, et bien boisée, un cours d'eau observé pendant une année, a constamment varié de l'inondation à la sécheresse, suivant que le temps était pluvieux ou serein. — Nous ne voulons pas conclure non plus que les terrains oolitiques doivent être abandonnés à eux-mêmes, car, en pleine saison humide, ils ne sont pas absorbants d'une manière absolue : ainsi, en hiver, et jusqu'au milieu du printemps, ils contribuent aussi aux crues ; mais du 1er juin au 1er novembre, ils donnent rarement des eaux d'inondation. Seulement, dans un travail qu'on entreprendrait pour prévenir les fléaux de ce genre, on devrait ne s'occuper de ces terrains qu'en dernier, et porter d'abord tous les efforts sur les terrains granitiques, fussent-ils boisés, comme étant les plus dangereux.

Conclusion. — L'hydrologie révèle le secret des variations et des caprices des cours d'eau ; on ne peut connaître le régime des rivières qu'en l'étudiant sur le terrain même où tombe la pluie qui les alimente ; enfin la question de la suppression des inondations et des étiages exagérés, serait plus qu'à demi résolue, si l'on faisait une grande étude d'ensemble dans tous les bassins des rivières navigables : « alors, dit le savant ingénieur dont nous venons de résumer les idées, on saurait quels sont les terrains qui produisent les crues, les points où il faut travailler pour les régulariser, et l'on n'appliquerait pas en aveugle tel procédé reconnu utile sur une rivière, à tel autre cours d'eau où il doit être complétement inefficace. » Voyez *Annales des ponts et chaussées*, 1846, sept. et oct., un mémoire intitulé : *Études hydrologiques dans les grands et terrains jurassiques formant la zone supérieure du bassin de la Seine*, par M. Belgrand, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

HISTOIRE DES INSTRUMENTS DE MESURE



Petite excursion dans la Grande Encyclopédie de Diderot

Au hasard de la consultation de l'"Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des Sciences, des arts et métiers"(1751-1780) dont le premier éditeur fut Denis Diderot (1713-1784) nous avons relevé certains éléments susceptibles d'éclairer le dossier de"l'histoire des instruments de mesures en hydrologie". Nous les présentons ci-après nous réservant d'aller plus avant dans l'exploitation de cette "mine" qu'est la Grande Encyclopédie.L'orthographe a été modernisée. (J.P.C.)

Fleuves (T.VI, 1756, p.868-874)

.....

De la mesure de la vitesse des fleuves. Les physiciens et les géomètres ont imaginé pour cela différents moyens. Gugliemini en propose un dans ses ouvrages qui nous parait trop composé et trop peu certain. Voyez son traité della nature de' fiumi et son aquarum fluentium mensura. Parmi les autres moyens, un des plus simples est celui du pendule. On plonge un pendule dans l'eau courante, et on juge de la vitesse de l'eau par la quantité à laquelle le poids s'est élevé, c'est à dire par l'angle que le fil fait avec la verticale. Mais cette méthode parait meilleure pour comparer ensemble les vitesses de deux fleuves, que pour avoir la vitesse ansolue de chacun. Les tangentes des angles sont à la vérité e,tre elles comme les carrés des vitesses et cette règle est assez sûre : mais il n'est pas aussi facile de déterminer directement la vitesse du fleuve par l'angle du fil (Voyez: Resistance des fluides et Fluides).

Un autre moyen est celui que M. Pitot a proposé dans les Mémoires de l'Académie de 1732. Il prend un tuyau recourbé, dont la partie supérieure est verticale et l'inférieure horizontale. Il plonge cette dernière dans l'eau en sorte que l'eau entre dans la branche horizontale. Selon les lois de l'hydraulique, l'eau doit s'élever dans le tuyau verticale à une hauteur égale à celle dont un corps pesant devrait tomber pour acquérir une vitesse égale à celle de l'eau. Mais on sent encore que ce moyen est assez fautif: 1°- l'eau sera retardée par l'angle que forme la partie horizontale avec la verticale; 2°- elle forme le sera encore le long du tuyau par frottement, ainsi elle s'élevera moins qu'elle ne devrait suivant la théorie; et il est très difficile de fixer le rapport entre la hauteur à laquelle elle s'éleve et celle à laquelle elle doit s'élever, parce que la théories des frottements est très peu connue (Voyez Frottement.

Le moyen le plus simple et le plus sûr pour connaitre la vitesse de l'eau est de prendre un corps à peu près aussi pesant que l'eau, comme une boule de cire, de le jeter dans l'eau et de juger de la vitesse de l'eau par celle de cette

boule; car la boule acquiert très promptement et presqu'en un instant, une vitesse à peu près égale à celle de l'eau. C'est ainsi qu'après s'être épuisé en inventions sur des choses pratiques, on est forcé d'en revenir souvent à ce qui s'était présenté d'abord.
Voyez les ouvrages de Gugliemini, cvelui de Varennes et l'histoire naturelle de M. de Buffon d'où cet article est tiré (O).

Hydromètres (Tome VIII, 1765, p.374)

est le nom qu'on donne en général aux instruments qui servent à mesurer la pesanteur, la densité, la force et les autres propriétés de l'eau..... On donne communément le nom d'aréomètre à l'instrument dont on se sert pour mesurer la pesanteur spécifique de l'eau. A l'égard de ceux dont on se sert pour mesurer la vitesse et par conséquent la force des eaux courantes, voyez l'art. Fleuve.

Des premiers pluviomètres, étymologie et histoire.

Quatre termes se sont trouvés quelque temps en concurrence pour désigner l'appareil "**mesureur de pluie**": ce sont udomètre, ombromètre, hyètomètre et pluviomètre.

1. **UDOMETRE**

D'après le Dictionnaire de Boiste (6è ed.,1823) ce mot serait enregistré dans l'ouvrage (plusieurs fois édité et augmenté depuis 1740) du grammairien et lexicographe P. Restaut, intitulé Traité de l'Orthographe. Le problème de son étymologie se pose :
a) ou bien udo- est tiré du grec hudôr (variante poétique hudos) qui signifie "eau" en général et dans certains contextes "eau du ciel, pluie", mais, dans ce cas, le mot est mal construit (car le formant un habituel dérivé de hudôr- et udo-, devrait être écrit hydo-) et sémantiquement discutable car le signifié général "eau" rend douteuse la spécialisation "pluie" que requiert udomètre;
b) ou bien on suppose une origine latine, l'adjectif udus, "mouillé, humide", subtantivé au neutre udum, "humidité"; dans ce cas udomètre (ou udimètre) sont morphologiquement acceptables mais le signifié se confond avec celui de hygromètre et par conséquent udomètre est, là aussi, très discutable.

2. **OMBROMETRE**

Ce mot est attesté en 1765 dans l'Encyclopédie et en 1777 dans le Dictionnaire français-italien de F. d'Alberti. Il se propose, évidemment, comme plus satisfaisant que udomètre. Ombro- est tiré du grec ombros "pluie (d'orage)" ou en général "pluie". Le mot est donc très correctement formé, mais il a contre lui d'être exposé à l'homonymie des deux morphèmes ombr- (grec) et ombr- (latin umbra) . Ombromètre est donc ambigu.

3. **HYETOMETRE**

Ce mot est enregistré comme néologisme dans le Boiste de 1823. Si certains météorologues l'ont créé et adopté, c'est que udomètre et ombromètre étaient sans doute critiquables. Hyéto- est très correctement tiré du grec huetos "(forte) pluie", du grec huô " faire pleuvoir, pleuvoir". Mais il avait l'inconvénient de manquer d'euphonie et d'être utilisé uniquement dans ce composé qui, de ce fait, n'était pas immédiatement intelligible.

4. **PLUVIOMETRE**

Ce mot a été créé par le R.P.Cotte, physicien et météorologiste, dans ses Mémoires sur le météorologie (1788). Construit très simplement sur la base latine pluvio- de pluvia "pluie", comme déjà les adjectifs pluvieux,

pluvial etc..., il avait l'avantage d'être parfaitement clair et motivé. Cependant il fut vivement critiqué par les puristes, ayant le grave défaut d'être un hybride, c'est à dire composé d'un élément latin (pluvio-) et d'un élément grec (-mètre), tout comme avait été blâmé le nom du calorimètre de Laplace et Lavoisier. Ainsi le Dictionnaire de Boiste, s'il consent à l'enregistrer, l'accompagne de la mention infamante de barbarisme ! Le Dictionnaire de Gattel (4è ed., 1827) dit que "hyètomètre et ombromètre sont plus usités". Pouillet dans ses Eléments de Physique (7è ed., 1856) parle des udomètres, en notant que "quelques observateurs les nomment pluviomètres". Cependant on parlait généralement des "deux pluviomètres de l'Observatoire" (Marie Davy, Météorologie, 1866, p.299) ce qui a sans doute contribué à imposer cette dénomination laquelle était d'ailleurs sans conteste la meilleure.

H.C (avril 1996)

Première description d'un Ombromètre en 1744

La Grande Encyclopédie à son article "Ombromètre" fait référence à la description de cet instrument dans le numéro 473 des Transactions Philosophiques de la Société Royale (d'Angleterre) dont on sait qu'elles étaient, à l'époque, traduites en français.

La description en question se trouve dans le mémoire intitulé : "Modèle d'un Journal du temps, avec la description des instruments necessaires, envoyé aux Présidents et Membres de la Société Royale" par M.Roger PICKERING, lu à l'assemblée de la Société Royale le 14 mai 1744; Trans. Phylos. de la Soc. Royale, année 1744, n°473, p.97-112, et Planche n°473,I,,Fig.5.
Ce mémoire décrit, peut être pour la première fois, un Journal du temps ou un modèle de cahier d'observations météorologiques journalières, fournit la description des instruments de ce que nous appelerons maintenant une "station météorologique" et donne quelques résultats de mesures.
Parmi les instruments décrits se trouvent: un baromètre, un hygromètre, un anémoscope et "l'Instrument pour mesurer la pluie". Nous donnons ci-après le texte complet de la description de ce dernier.

" de l'instrument pour mesurer la pluie
Cet instrument est composé d'un entonnoir d'étain d'un pouce quarré de surface, d'une planche, d'un tube de verre placé au milieu dans une rainure (la longueur et la largeur de la planche et du tube sont arbitraires) et d'une aiguille. La planche du mien a environ trois pieds de long, ce qui est la hauteur des balustres d'une galerie qui entoure le faîte de ma maison, à l'une desquelles elle est attachée de manière que rien n'empêche la chute de la pluie; elle a quatre petits pitons pour recevoir autant de crochets. Le calibre de mon tube est d'environ un demi-pouce, qui est le calibre moyen et le meilleur. Un calibre plus grand obligeant de rapprocher davantage les degrés, est par conséquent moins juste et moins exact; un plus étroit ne permet pas de vuider l'eau lorsque le tuyau est plein sans qu'il en reste une très-grande quantité d'adhérente à ses parois, qui, lorsque le tube est replacé dans sa situation perpendiculaire, retombe et remplit quelque fois 2/32 de pouce; ce qui, si on n'y prend garde, doit causer de grandes erreurs dans le Journal. Voici la manière de graduer la planche.

J'ai un vaisseau d'étain qui contient exactement un pouce cubique d'eau, avec lequel je jauge le tube jusqu'à ce que par des expériences réitérées j'aye trouvé la hauteur à laquelle un pouce cubique d'eau s'élève dans le tube, je divise l'espace qui y répond sur la planche en 32 parties égales: je prend la même mesure dans le reste du tube et je gradue de la même manière un espace de 4 pouce. Maintenant la surface de l'entonnoir étant d'un pouce quarré, il ne peut parvenir dans le tube que la pluie qui tombe sur un

espace d'un pouce quarré; et suivant que la pluie est plus ou moins forte, sa quantité exacte se mesure sur la plache où est placé une aiguille mobile. Cet instrument a exactement répondu à mes vues. Il est d'une forme extrêmement simple et aisée à réparer s'il lui arrive quelque dérangement. Si le tube se casse il ne faut qu'effacer la graduation, qui n'est marquée qu'avec de la mine de plomb, et jauger le nouveau tube avec la mesure cubique pour une nouvelle graduation, et l'instrument est réparé. Je cassai un tube, que je rétablis entièrement en trois heures de temps. Il est essentiel pour l'hiver de ne pas laisser une goutte d'eau dans le tube car il casserait en gelant. Cet instrument peut servir également pour la grêle et la neige fondue. Voy. en la figure Pl.I,Fig.5."

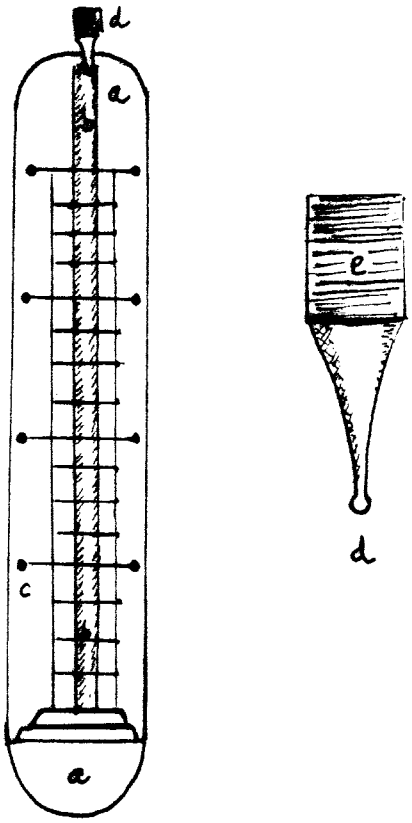
Remarques

- L'orthographe originale a été conservée.
- Le mot "ombromètre" n'apparait pas dans le texte même; il figure uniquement à la fin du mémoire dans la description des observations météorologiques faites au cours des mois d'avril et mai 1774. Peut être existait-il avant la parution de ce texte et l'auteur n'a pas cru bon de le mettre en évidence. On notera cependant que, dans la liste des instruments, c'est le seul qui ne figure pas par son nom en tête du paragraphe qui lui est consacré.
- Unités: le pouce est la douziéme partie du pied; il se divise en douze lignes. Le pouce peut être estimé à 27,07 mm
- La surface receptrice de l'ombromètre décrit est d'un pouce carré c'est à dire d'environ 7,33 cm^2 ; comparée au 400 cm^2 de nos modernes pluviomètres cette surface est extrêmement faible; comme par ailleurs cette surface n'était pas régulière (l'Encyclopédie dit que l'entonnoir est "applati", voir aussi la figure) et qu'elle était adossée à un rebord vertical, on peut imaginer qu'elle ne devait pas être très représentative de la hauteur de pluie.
- Cependant la Grande Encyclopédie fournit dans son article "pluie" quelques valeurs de hauteur annuelle de pluie à Paris de 1700 à 1705 ce qui prouve l'utilisation de ce type d'appareil depuis au moins ces dates; ces valeurs ne sont pas complètement abhérantes par rapport à ce qu'on connait de la pluviomètrie de la région parisienne :

Année	hauteur en pouces	équivalence en mm
1700	21 pouces 38 centièmes	579 mm
1701	27 78	752
1702	17 42	472
1703	18 51	502
1704	21 20	574
1706	14 82	401

- Il semble que ce type d'appareil se soit maintenu assez longtemps, au moins jusqu'en 1788 date où apparait pour le première fois le terme "pluviomètre".

J.P.Carbonnel



a a blanche
b b le tube
c la graduation
d l'entonnoir fixé dans le tube
e entonnoir d'un pouce carré

L'ancêtre du Pluviomètre,

l'UDOMETRE de l'Observatoire de Paris

D'après Les éléments de physique expérimentaleet de Météorologie de C.S.M.M.R POUILLET, chez Béchet jeune, libraire à Bruxelles, **1829**, tome II.

DE LA PLUIE, DE LA NEIGE, DU GRÉSIL ET DU VERGLAS.

667. La quantité de pluie qui tombe annuellement sur un même point de la terre est un élément météorologique dont la détermination est très-importante. Les instrumens qui servent à cet usage sont appelés *udomètres ;* quelques observateurs les nomment *pluviomètres*. La figure 360 représente l'udomètre ordinaire : c'est un cylindre en cuivre de 6 ou 8 pouces de diamètre ; il se compose d'un récipient cc′ et d'un réservoir ss′. Le récipient porte un fond conique percé d'une ouverture R ; il s'ajuste à mouvement de baïonnette sur le réservoir ss′. Au fond de celui-ci s'ouvre un tube coudé TT′ qui se relève le long de la paroi extérieure ; là il reçoit un tube de verre vv′, qui est divisé en parties égales et qui sert à indiquer la hauteur du liquide intérieur. On mesure exactement la surface du récipient cc′ ; on jauge le réservoir ss′ pour connaître la quantité de liquide qui correspond aux diverses divisions du tube vv′, et il est facile ensuite d'en déduire la *quantité de pluie*, c'est-à-dire, l'*épaisseur de la couche* qu'elle aurait formée dans un vase à fond plat et horizontal.

Fig. 360.

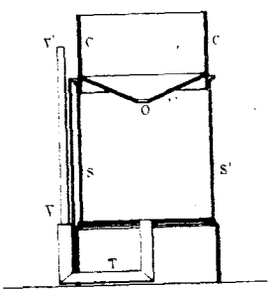
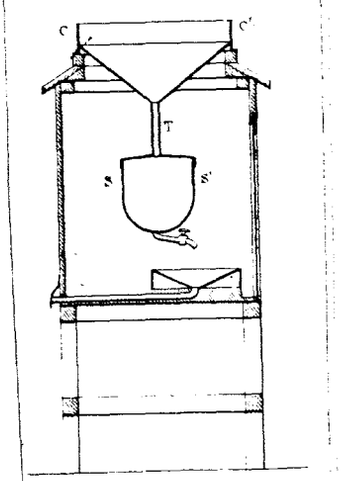


Fig. 360 *bis*.



L'udomètre de l'Observatoire de Paris est représenté dans la figure 360 *bis*. Le récipient est en cc′, le réservoir en ss′, l'eau tombe du récipient dans le réservoir au moyen du tube T ; un peu au dessous du réservoir est une cuvette cylindrique, jaugée avec soin, et portant sur sa paroi intérieure des divisions qui indiquent en centimètres la hauteur du liquide. Le récipient a 76 centimètres de diamètre et la cuvette 24 centimètres, de telle sorte que sa surface est la dixième partie de celle du récipient. On emploie aussi de petits vases gradués pour mesurer les petites fractions. Cet appareil est exposé au milieu de la cour de l'Observatoire ; il est porté sur une petite charpente en chêne, formant une espèce d'armoire, dans laquelle sont enfermés le réservoir, la cuvette et les vases gradués.

Un appareil semblable est disposé au dessus de la terrasse de l'Observatoire ; son récipient est à 28 mètres au-dessus du récipient de la cour ; il est comme celui-ci parfaitement libre et découvert.

Voici le résultat des observations qui ont été faites depuis 1817, au moyen de ces deux instrumens.

Extrait d'un cours de Météorologie (L.F. KAENITZ en 1843)

Des différences de niveau de 30 mètres suffisent pour rendre ces phénomènes sensibles. Pour déterminer la quantité de pluie, on se sert d'instruments appelés *pluviomètres*, *ombromètres*, *hyétomètres*, *udomètres*. Ils se composent de vases ouverts par en haut placés dans un lieu découvert, de manière à recevoir directement la pluie ou la neige qui tombent de l'atmosphère. Après chaque pluie, on mesure la quantité d'eau qu'ils contiennent; s'il a neigé, on fait fondre la neige préalablement. Mais dans nos climats la quantité de pluie qui tombe chaque fois se réduit à si peu de chose, que les erreurs d'observation accumulées peuvent avoir de l'influence sur la moyenne annuelle. L'appareil le plus irréprochable peut-être, mais aussi le plus compliqué, est celui qui a été imaginé par le professeur **Horner**, de Zurich. (Voyez le *Traité de météorologie* de **Kaemtz**, t. I, p. 413, et pl. III, fig. 19.)

Le plus souvent on emploie des appareils à mensuration très-simples : un tube en verre du diamètre de 2 à 4 centimètres est divisé extérieurement en parties correspondant chacune à 2 ou 3 centimètres cubes de capacité. On mesure avec la même exactitude l'ouverture du pluviomètre; supposons qu'elle soit égale à $0^m,2$ carrés : après la pluie, on verse l'eau qui se trouve dans le pluviomètre dans le tube gradué, et l'on peut savoir combien il est tombé de centimètres cubes d'eau. On calcule aussi quelle eût été la hauteur de l'eau tombée dans le pluviomètre en divisant le nombre des centimètres cubes par la surface de l'ouverture, exprimée en centimètres carrés. Je suppose qu'on ait trouvé $0^m,10285$ cubes, l'eau aurait eu une hauteur de

$$\frac{0,10285}{0,20000} = 0^m,051$$

Il est du reste indispensable de mesurer immédiatement après la pluie, sans quoi une partie de l'eau s'évapore, et l'on trouve des nombres trop faibles [1].

[1] M. Flaugergues, professeur à l'école d'artillerie navale de Toulon, a présenté à la Société des Sciences de cette ville, dans le courant de 1841, un nouvel udomètre gyratoire, destiné non-seulement à mesurer la quantité de pluie qui tombe, mais encore à faire connaître, à la simple inspection, quelles sont, sur cette quantité totale, les quantités partielles qui sont tombées par chaque vent déterminé.

Cet instrument se compose : 1° d'un entonnoir mobile autour d'un axe vertical, couvert à sa partie supérieure et portant à son extrémité inférieure un tube de dégorgement dont l'axe est dans le même plan vertical que l'axe de rotation et qu'une girouette qui est fixée au corps même de l'entonnoir, de manière que l'écoulement de l'eau qui s'y est accumulée a lieu dans une direction constamment parallèle à celle du vent; 2° d'un réceptacle cylindrique partagé par huit cloisons verticales et rayonnantes en huit chambres correspondant aux huit aires principales des vents. Ce réceptacle a été primitivement orienté et solidement fixé sur une base au fond de chacune des cloisons par un tube qui remonte verticalement à l'extérieur du réceptacle, et sur lequel on observe la hauteur de l'eau dans la cloison correspondante.

Un udomètre de cette espèce est en observation depuis le commencement de 1841 au polygone de la marine à Toulon, et son emploi n'a rien laissé à désirer. M.

Plaçons deux pluviomètres, l'un sur le toit d'un édifice, l'autre au niveau du sol, comme on l'a fait à l'Observatoire de Paris; rarement nous trouverons la même quantité de pluie dans les deux instruments : en général, elle sera moins considérable en haut. Cet effet se remarque surtout lorsque l'air est humide et agité dans le voisinage du sol; il est probable que le vent enlève les gouttes de pluie qui rebondissent et les chasse dans le pluviomètre, comme on voit la neige s'accumuler sur certains points; on admet aussi que les gouttes grossissent par la vapeur d'eau qui s'ajoute à elles dans la hauteur qui sépare le sol du toit de l'édifice [1].

L'eau qui tombe des régions supérieures de l'atmosphère est en général à l'état de neige ou de pluie. Cependant, même au milieu de l'été, elle tombe quelquefois sous forme de grêle. En hiver, on observe aussi des gouttes de pluie gelées qui se composent de glace pure, surtout quand, après un froid rigoureux et continu, les vents du sud viennent échauffer les régions supérieures de l'atmosphère. Il se forme alors des gouttes de pluie qui se congèlent avant d'arriver au sol; cependant l'eau arrive souvent encore à l'état liquide, mais elle gèle en touchant la terre, qu'elle recouvre d'une couche de glace appelée *verglas*. Ces deux phénomènes coïncident ordinairement avec une forte baisse barométrique et annoncent le dégel.

Quand la température de l'air est voisine de zéro ou plus basse, il tombe en général de la neige; mais, plus la température de l'air s'abaisse, et moins il contient de vapeur d'eau; aussi la quantité de neige

[1] Le pluviomètre de la terrasse de l'Observatoire de Paris est élevé de 27 mètres au-dessus de celui qui se trouve dans la cour. De 1817 à 1827 il est tombé, en moyenne, 57 centimètres de pluie dans la cour, et seulement 50 centimètres sur la terrasse. (Voyez Arago, *Ann. du Bureau des Longitudes* pour 1824; et Pouillet, *Eléments de Physique*, t. II, p. 579.)

La quantité de pluie qui tombe dans le pluviomètre supérieur étant 1, M. Schouw trouve les nombres suivants pour celle qui tombe dans le pluviomètre inférieur :

VILLES.	DIFFÉRENCE DE NIVEAU.	PLUVIOMÈTRE INFÉRIEUR.
	m	
Copenhague.	39,0	1,27
York.	65,0	1,72
Londres.	23,0	1,29
Paris.	27,0	1,14
Penzance.	14,0	1,51
Pavie.	17,6	1,01

L.F. KAENITZ - Cours complet de Météorologie. Trad. et Notes de Ch. Martins, Paris, Edit. Paulin, 1858 (1er édit. 1843)

La mesure de la pluie en 1847

Pour évaluer la quantité d'eau qui tombe dans les diverses localités, soit à l'état de pluie, soit à l'état de neige, on fait usage d'appareils que l'on a nommés pluvimètres, udomètres, hyetomètres ou ombromètres. Ils se composent simplement de vases ouverts par en haut, placés dans un lieu découvert, de manière à recevoir directement la pluie ou la neige et à les soustraire à l'évaporation; on mesure ensuite l'eau tombée dans le vase. Quand on dit qu'il est tombé 50 centimètres d'eau dans une année, cela signifie que si l'on empêchait l'évaporation, et que l'on supposât l'eau étendue sur toute la surface du lieu où elle est tombée, l'épaisseur de la couche serait de 50 centimètres. On peut voir la description de l'udomètre de l'Observatoire de Paris, dans le *Traité de physique* de M. Pouillet, t. II. On a construit aussi des appareils donnant la quantité d'eau tombée suivant les divers vents. M. Flaugergues a établi à Toulon un appareil de ce genre, au moyen duquel, à l'aide d'une girouette, la direction de la partie inférieure de l'entonnoir qui reçoit l'eau de pluie, est la même que celle du vent; le réceptacle cylindrique de cet udomètre, divisé en huit compartiments, donne la quantité d'eau correspondante à chaque vent.

On dispose généralement l'udomètre à la surface du sol; à l'Observatoire il y en a deux semblables : l'un placé sur le sol, l'autre sur la terrasse à 27 mètres de hauteur du premier. On ne trouve jamais en moyenne la même quantité d'eau dans les deux appareils; sur la terrasse, la moyenne de vingt-deux années d'observations donne 50 centimètres d'eau, et sur la surface du sol 57 centimètres; dans d'autres pays on a observé des effets analogues. Cette différence de plus de $\frac{1}{10}$ n'est pas encore bien expliquée : tient-elle uniquement à la condensation de la vapeur sur les gouttes de pluie dans le court trajet de 27 mètres, ou bien ne dépend-elle pas aussi d'un effet local, le vent enlevant les gouttes de pluie près de terre, et, par une espèce de remout, les poussant dans le pluvimètre? C'est ce que l'on n'a pas encore décidé.

Extrait de : BECQUEREL A.C. & E. BECQUEREL (1847) -Eléments de physique terrestre et de météorologie. F.Didot Fr. Edit., Paris, 2vol.

Extrait de

" L'ART DE DECOUVRIR LES SOURCES " par M. l'abbé PARAMELLE Béranger, Paris, 1856 (1è Edit.), 1859 (2è Edit., 1896 (3è Edit.); re-édité en 1926.

Quantité d'eau que produisent les metéores aqueux

La quantité d'eau que produisent annuellement tous les météores aqueux varie, d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre, plus que du simple au double. Les principales causes de la différence qu'on trouve d'un lieu à un autre sont : la proximité et l'éloignement de la mer, des lacs ou des rivières ; la situation des lieux, selon qu'ils sont plus élevés ou plus bas ; le voisinage ou la disposition de certaines montagnes ; la température : ainsi dans les climats chauds, les pluies sont plus abondantes que dans les pays froids, etc.

Pour connaitre la quantité d'eau qui tombe annuellement, on se sert d'un appareil nommé *udomètre* ou *hydromètre*, qui se compose d'un entonnoir, d'un récipient et d'un tuyau, le tout en métal. L'entonnoir est un vase cylindrique de 20 à 40 centimètre de diamètre et d'un demi-mètre de profondeur au moins, afin que les gouttes de pluie qu'il reçoit ne puissent rejaillir au dehors. Le récipient est un autre vase cylindrique d'un mètre 30 centimètres de hauteur qui a exactement le même diamètre que l'entonnoir et est fermé en haut et en bas. On établit l'entonnoir en plein air sur le toit d'un bâtiment, et le récipient dans un appartement placé au-dessous. Le fond de l'entonnoir et le dessus du récipient ont chacun une petite ouverture à laquelle on ajuste un tuyau qui traverse le toit et conduit l'eau pluviale de l'entonnoir au récipient à mesure qu'elle tombe. Le tuyau doit avoir tout au plus un centimètre de diamètre, et l'appartement être exposé à la moindre chaleur possible, afin que l'évaporation n'enlève point l'eau du récipient. Quand l'année est révolue, on mesure la hauteur de l'eau qui se trouve dans le récipient, on en prend note et on le vide.

Cette expérience, ainsi que celle du bassin évaporatoire, dont il a été parlé plus haut, doivent être

répétées pendant un certain nombre d'années : car, une ni deux ne suffisent pas pour connaître la quantité d'eau qui s'évapore, ni celle qui tombe dans un endroit, attendu qu'on ne trouve pas deux années qui produisent exactement les mêmes quantités ; c'est pourquoi on réitère communément ces expériences pendant une période de dix ou de vingt ans. On additionne les quantités d'eau élevées ou tombées chaque année, et, en divisant le total par le nombre des années qui ont été employées à l'expérience, on trouve au quotient l'épaisseur moyenne de la lame d'eau qui s'élève ou qui tombe annuellement dans le pays.

Voici le résultat de quelques observations qui ont été faites sur ce sujet en des temps et en des lieux différents.

Perrault est le premier qui ait eu recours à l'udomètre pour constater la quantité d'eau que les météores aqueux versent annuellement sur la terre, et il trouva que la quantité moyenne qui était tombée à Paris pendant les années 1668, 1669, 1670 était de 19 pouces 2 lignes 1/3. Suivant des observations faites avec soin pendant dix ans à Padoue, par Poléni, la quantité moyenne fut pour cette ville de 45 pouces, et à Pise de 43. A Lyon, on a trouvé, terme moyen, 37 pouces ; à Londres, 37 ; à Rome, 28 ; à Alger, 27 ; à Upsal, 15 ; à Genève, 24 ; au couvent du Grand-Saint-Bernard, 59 ; à Figeac (Lot), 19 ; à Paris, on a eu, en 1711, 26 pouces d'eau, et, en 1723, 7 pouces et demi, à Toulouse, dans des années sèches, 15 pouces M. Cotte, ayant recueilli cent quarante-sept

observations sur la quantité de pluie qui tombe annuellement dans notre climat, en a conclu, pour la moyenne, à 35 pouces, quantité à peu près égale à celle qui s'évapore annuellement.

Mais, dira-t-on, en admettant l'exactitude de ces observations, serait-il possible de prouver qu'il tombe chaque année assez d'eau pour fournir à l'écoulement des sources, des ruisseaux, des rivières et des fleuves, qui en envoient à la mer de si prodigieuses quantités ?

Perrault et Mariotte, membres de l'Académie des sciences sous Louis XIV, ont trouvé que l'eau qui coule dans le canal de la Seine n'est qu'une faible partie de celle que les pluies versent sur son bassin ; voici comment ils ont procédé :

Perrault a examiné et mesuré le bassin de la Seine depuis sa source jusqu'à Aignay-le-Duc, en Bourgogne ; ce bassin s'est trouvé avoir environ trois lieues de long et deux de large, ce qui donne une superficie de six lieues carrées, faisant 31,245,140 toises carrées. En supposant que, pendant une année, toutes les eaux pluviales qui tombent sur ce bassin, s'y accumulent, restent en place et ne fassent aucune perte par évaporation ni autrement, au dernier jour de l'année cette superficie sera couverte d'une lame d'eau épaisse de 19 pouces 2 lignes 1/3, ce qui fera 224,899 942 muids (1) d'eau.

(1) Un muid est une mesure de 8 pieds cubes ; en sorte qu'un vase de 2 pieds de haut, de long et de large, contient un muid.

Le sixième de cette quantité serait suffisant pour fournir pendant toute l'année suivante à l'écoulement ordinaire de la Seine à Aignay-le-Duc, quand même, par supposition, le bassin ne recevrait pas une nouvelle goutte d'eau ; car, en cet endroit, la rivière a, terme moyen, environ 1,200 pouces d'eau courante, qui donnent 99,600 muids d'eau en 24 heures et 36,453,600 dans l'année ; ainsi la quantité d'eau contenue dans ce bassin supposé étant de 224,899,942 muids, et la quantité écoulée dans un an n'étant que de 36,453,600 muids, il s'ensuit que l'eau qui passe pendant un an dans le canal de la Seine à Aignay-le-Duc, n'est, à peu de chose près, que le sixième de celle qui, pendant le même temps, tombe sur son bassin.

A l'imitation de Perrault, Mariotte a mesuré toute la partie du bassin de la Seine qui est au-dessus de Paris, et, réduction faite des nombreuses courbes qui forment son périmètre, il a évalué sa surface à 60 lieues de long sur 50 de large, qui font 3,000 lieues carrées. Abandonnant les quantités avantageuses que lui fournissaient les observations déjà faites, il s'est contenté de supposer qu'il tombait sur ce bassin 15 pouces d'eau chaque année, ce qui fait 45 pieds cubes d'eau par toise carrée. La lieue étant de 2,300 toises de long, une lieue carrée contient 5,290,000 toises superficielles, qui multipliées par 45, donnent 238,050,000 pieds cubes d'eau par an, et les 3,000 lieues de superficie produisent 714,150,000,000 de pieds cubes d'eau par an.

Afin de constater ensuite quelle quantité d'eau passe à Paris tous les ans dans le canal de la Seine et la comparer avec celle qui tombe sur son bassin, Mariotte a vérifié que quand l'eau de cette rivière est à sa moyenne élévation elle a 100 pieds de largeur et 5 de profondeur. En jetant dans l'eau un corps assez léger pour flotter, tel qu'un petit bloc de liége, de bois sec, de cire, etc., il trouva après de nombreuses expériences, que le corps flottant, et par conséquent l'eau de la rivière, parcourait en moyenne 100 pieds par minute, qui font 6,000 pieds par heure. En multipliant les 100 pieds de large par les 5 pieds de profondeur, on a une section d'eau courante de 2,000 pieds, lesquels, multipliés par les 100 pieds qu'elle parcourt chaque minute, donnent 200,000 pieds cubes chaque minute, 12,000,000 par heure, 288,000,000 par vingt-quatre heures et 105,120,000,000 pour l'année ; ce qui n'est pas, conclut-il, la sixième partie de l'eau qui tombe dans un an sur les terres qui fournissent l'eau de la Seine à Paris. Si au lieu de 15 pouces qui ont été pris dans ce calcul, on en prend 18, on aura pour toute l'année 856,980,000,000 de pieds cubes, ce qui donne huit fois plus d'eau que la rivière n'en conduit à Paris.

La voie pour connaître approximativement la quantité d'eau qui tombe annuellement sur le bassin d'une rivière et celle qui, pendant le même temps, s'écoule dans son canal, étant ainsi ouverte par ces deux académiciens, d'autres observateurs français et étrangers ont, à leur exemple, opéré de même sur d'autres fleuves et rivières. Les résultats que quelques-uns de

nos ingénieurs ont récemment obtenus sont différents des deux qu'on vient de voir et même peu concordants entre eux. Ainsi, M. de Gasparin (1) évalue à un septième le rapport moyen entre la quantité d'eau qui coule dans les rivières et celle qui tombe sur leurs bassins. M. Minard (2) a trouvé que l'eau qui coule dans le lit du Rhône, comparée à celle que les météores aqueux versent sur son bassin, est de 25 pour 100. M. Baumgarten (3) est d'avis que l'eau qui descend dans le canal de la Garonne est de 31 pour 100 ; et M. Dausse (4) porte à 36 pour 100 l'eau qui roule dans le lit de la Seine.

Des résultats si différents n'ont rien qui doive surprendre, quand on sait que la puissance d'absorption des terrains varie à l'infini, puisque les uns absorbent absolument toute l'eau pluviale qui tombe sur eux et que les autres n'en absorbent presque point ; que l'activité de l'évaporation et la quantité d'eau pluviale qui tombe chaque année varient d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre plus que du simple au double. Toutes les opérations qui sont faites pour constater la quantité d'eau qui tombe annuellement sur les bassins des diverses rivières et celle qui coule dans leurs canaux, doivent donc aboutir à presque autant de résultats différents qu'il y a d'opérations faites,

(1) *Cours d'agriculture*, t. I, p. 485.
(2) *Cours de construction*, p. 317.
(3) *Annales des ponts et chaussées*, 2e série, t. XII.
(4) *Annales des ponts et chaussées*, 1812, t. III, p. 201.

soit sur la même rivière, soit sur des rivières différentes. Quoique ces résultats soient assez peu concordants, néanmoins tous établissent ce fait capital que *les météores aqueux versent sur chaque bassin beaucoup plus d'eau qu'il n'en coule dans le canal du cours d'eau qui s'y trouve ;* car, en prenant le terme moyen des résultats obtenus par les quatre derniers observateurs, on trouve que la quantité d'eau qui coule dans les rivières est environ le quart de celle que les météores aqueux répandent sur leurs bassins, et si l'on admet la moyenne des résultats obtenus par les huit observateurs qui viennent d'être cités, l'eau qui coule dans les rivières n'est que le cinquième de celle qui tombe sur leurs bassins. Dans le chapitre suivant il sera rendu compte de ces trois quarts ou quatre cinquièmes d'eau pluviale qui s'arrêtent dans les terres et de la part qui sert à entretenir les sources.

M. Degousée, dans son ouvrage intitulé : *Guide du sondeur*, chap. I, après avoir prouvé brièvement que les météores aqueux produisent toutes les eaux qui marchent sur la terre et celles qui circulent intérieurement, arrive aux conclusions et réflexions suivantes :

« En résumé, la quantité d'eau qui, élevée par l'évaporation dans l'atmosphère, retombe sous la forme de pluie, de neige, de grêle, de rosée et de brouillards, sur les continents, est plus que suffisante pour alimenter les cours d'eau qui circulent à leur surface ou dans les cavités intérieures. Cette conclusion si simple et si féconde, rapprochée des systèmes péni-

bles et compliqués qu'a successivement produits l'ancienne physique, présente une de ces leçons par lesquelles l'histoire des sciences humilie si souvent l'orgueil de notre esprit, et lui apprend qu'il ne peut rien savoir par lui-même des plans de la création, que, livré à ses seules ressources il n'a nul accès vers la réalité, qu'enfin pour connaître la nature, il doit se résoudre à l'interroger en recueillant, par l'observation, ce qu'elle-même veut bien nous laisser voir à travers ses voiles. Cet enseignement nous est donné ici d'une manière frappante : La solution du problème, que l'on a cherché si longtemps en vain, dépendait de deux éléments relatifs l'un à l'évaporation atmosphérique, l'autre à l'écoulement fluvial. De ces deux faits, le premier était regardé par les anciens comme tout-à-fait insignifiant, le second apparaissait au contraire à leur imagination sous des proportions si monstrueuses qu'ils ne trouvaient pas de mécanisme assez compliqué pour le produire. Or, c'est justement le contrepied qu'il fallait prendre, et l'observation a fait voir que l'on se trompait doublement et que le phénomène dont on ne daignait seulement pas tenir compte, surpassait de beaucoup celui dont on exagérait l'importance. Deux citations feront ressortir complètement cette double erreur. La première, empruntée à Leslie, rend sensible la force vraiment prodigieuse qui est mise en jeu dans la formation des nuages.

Concevez, dit ce physicien, que l'eau qui s'évapore annuellement, au lieu de se disséminer dans l'atmosphère à toutes les hauteurs, s'élève et s'arrête tout

entière à une certaine hauteur moyenne. L'évaporation annuelle se trouvera ainsi représentée dans ses effets mécaniques, par une masse d'eau connue, élevée à une hauteur verticale également connue. Mais le travail de ce genre qu'un homme peut faire dans l'année a été déterminé : eh bien! la comparaison des deux résultats montre que l'évaporation représente le travail de 80 millions de millions d'hommes. Supposez que 800 millions d'hommes soit la population du globe; que la moitié seulement de ce nombre d'individus puisse travailler ; la force employée par la nature dans la formation des nuages, sera égale à deux cents mille fois le travail dont l'espèce humaine entière est capable. Voilà la force que déploie silencieusement la nature, tandis que la science humaine s'épuisait à chercher le chemin que suit l'eau de la mer pour remplir le bassin des fontaines. Et au moment où l'esprit de système passait à côté d'un si grand phénomène sans s'en apercevoir, veut-on savoir quelles proportions fantastiques ils attribuaient gratuitement à un phénomène bien plus modeste ; qu'on ouvre la géographie de Bernard Varénius, ouvrage qui a eu Newton pour éditeur et qui, à la fin du dix-septième siècle, servait de guide aux étudiants de l'université de Cambridge, on y lira : « Les rivières du premier » ordre produisent une si grande quantité d'eau que » ce que chacune d'elles emporte à la mer en un an » *excède la grosseur de toute la terre !* telle est l'eau » que le Volga jette dans la mer Caspienne ; de sorte » qu'il est absolument nécessaire que l'eau passe

» incessamment de la mer dans la terre. » Ces deux erreurs commises en sens inverse et que l'observation des faits est venue tardivement rectifier, montrent bien à la fois et la faiblesse de nos propres conceptions et la puissance réparatrice de la méthode expérimentale.

Pour appuyer mon sentiment sur l'origine des sources, je pourrais citer des auteurs qui ont soutenu la vraie cause de leur origine ; tels que : Vitruve, *Architecture ;* Gassendi, *Commentaire sur Diogène de Laerce ;* Palissy, *de la Nature des Eaux et des Fontaines ;* Le P. François, *la science des Eaux ;* Pluche, Entretiens XX et XXI ; Vallisneri, *Annot.*; Buffon, art. *Génèsie des Minéraux ;* l'Encyclopédie, art. *Fontaine* ; Nollet, *Physique expérimentale,* XII^e^ leçon ; Bordeu, *Eaux minérales du Béarn ;* Brisson, *Physique,* n° 1044 ; Héricart de Thury, § 191 et un grand nombre d'autres physiciens et naturalistes récents. Mais comme des citations textuelles prolongeraient démesurément une discussion déjà trop longue, je me contente d'en indiquer quelques-uns pour les personnes qui jugeront à propos de les lire. Ce qui vient d'être dit, et ce qui sera ajouté dans la suite de ce traité me paraît suffire pour prouver jusqu'à l'évidence que *les sources ne tirent pas leur origine de la mer par des conduits souterrains ; mais que ce sont les pluies, les bruines, les brouillards, les rosées, les neiges, les grêles, les gelées blanches, les grésils et les givres qui fournissent à la terre toutes les eaux qu'elle renvoie à la mer et qu'elle rend sous forme de sources.*

Différents pluviomètres utilisés vers 1880

PLUVIOMÈTRE (Physique). — C'est un instrument destiné à mesurer la quantité d'eau tombée dans un lieu donné et dans un temps donné. La Société météorologique de France recommande le suivant : il se compose d'un entonnoir en zinc à bord presque tranchant, vertical en dedans, qui verse son eau dans un cylindre auquel il est soudé et dont la section est dix fois moindre, de sorte que la hauteur de pluie tombée s'y trouve décuplée. Ce cylindre ou récipient porte sur le côté un tube de verre qui lui est réuni par deux coudes; deux anneaux de caoutchouc permettent de réunir le tube au récipient; la lecture se fait directement au moyen d'une échelle en millimètres. L'instrument doit pouvoir se vider, par exemple, par un robinet latéral; il ne donne la hauteur de la pluie tombée qu'autant qu'on l'a mis au zéro, c'est-à-dire qu'on y a mis de l'eau en quantité convenable pour qu'elle affleure le zéro de l'échelle. Ce pluviomètre doit être observé chaque jour pour se mettre à l'abri de l'évaporation. Au lieu de mesurer l'eau de cette manière, certains observateurs la retirent de l'instrument et la jaugent dans une éprouvette graduée ou bien encore la pèsent. Il suffit de connaître avec cela l'aire de l'ouverture de l'entonnoir.

Le pluviomètre de Horner consiste en un entonnoir qui verse son eau dans un récipient susceptible de basculer pour une quantité déterminée d'eau tombée, $\frac{1}{5}$ millimètre, par exemple; un compteur permet d'indiquer combien de fois le récipient a basculé.

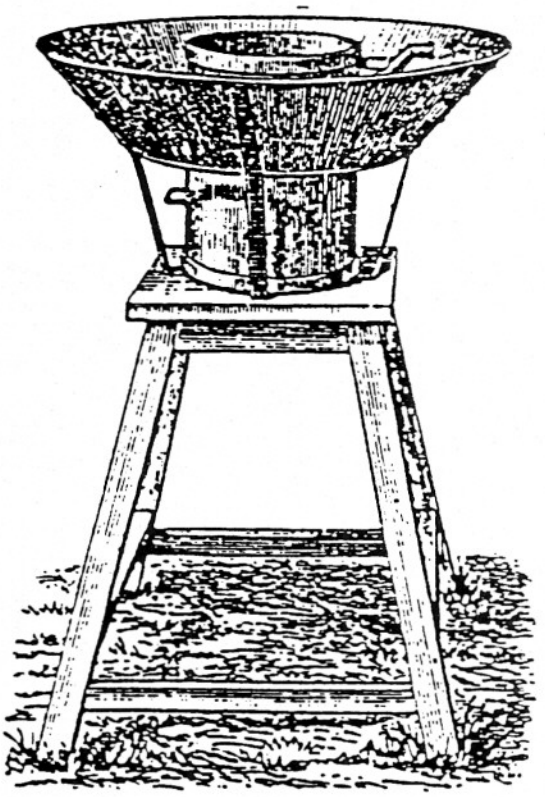
Le pluviomètre de M. Babinet est un entonnoir qui communique avec un réservoir cylindrique vertical terminé par deux cônes; le tout est fixé à un poteau. Quand l'on veut observer, on ouvre un robinet situé au fond du récipient et on recueille l'eau dans une éprouvette graduée où on la mesure. M. Hervé-Mangon a modifié heureusement cet instrument. Entre l'entonnoir et le réservoir, il intercale un tube vertical gradué séparé du réservoir par un robinet. Chaque jour l'eau tombée s'accumule dans ce tube, et après l'avoir mesurée on la fait passer dans le récipient. Au bout du mois on recueille l'eau du récipient, on la mesure et cela sert de vérification.

Dans certaines contrées, il se produit des pluies torrentielles et les instruments ordinaires deviennent insuffisants. A Cayenne, l'amiral Roussin a recueilli $0^m,28$ d'eau dans une nuit, M. Maillard en a vu tomber $0^m,73$ en 27 heures à l'île de la Réunion; Flangnergues, à Viviers, en a jaugé $0^m,36$ en 18 heures et Tardy de la Brosse, à Joyeuse, $0^m,25$ dans une journée; Pagano a mesuré $0^m,81$ d'eau tombée à Gênes, le 25 octobre 1822. Voici comment M. Fabre dispose ses instruments pour qu'ils soient à l'abri de cet inconvénient. Au pluviomètre est adapté un siphon qui descend intérieurement jusqu'au zéro, et au dehors un peu plus bas; le coude du siphon est au niveau du haut de l'échelle. Quand l'eau atteint cette limite, le siphon s'amorce de lui-même comme dans un vase de Tantale et se vide jusqu'au zéro. On peut d'ailleurs connaître combien de fois l'instrument s'est vidé; pour cela, au-dessous de la branche extérieure du siphon est un vase percé d'un petit trou et porté par un bras de levier; ce levier bascule par le poids de l'eau qui remplit le vase, et quand celui-ci s'est vidé, il remonte et fait alors tourner la roue d'un compteur.

On a cherché aussi à enregistrer, heure par heure, la quantité d'eau tombée, ainsi que la direction du vent, mais ces instruments fort compliqués ont peu d'usages; d'ailleurs, la direction du vent qui pousse le nuage pluvieux est souvent différente de celle du vent qui fait mouvoir la girouette.

Deux pluviomètres identiques, mais placés dans le même lieu, l'un au sommet d'un édifice, l'autre à peu de distance du sol, donnent des indications très-différentes. Ainsi, à Paris, pour 32 ans d'observations, la moyenne annuelle est, pour le pluviomètre de la cour de l'Observatoire, de $0^m,577$, et de $0^m,507$ seulement pour celui de la terrasse; la différence de niveau des deux appareils est de $28^m,76$. Les observations de trois ans, faites à York, au sommet de la cathédrale, sur le faite du Muséum et au ras de terre dans le jardin y attenant, donnent pour la moyenne annuelle, sur la cathédrale, $294^{mm},75$; sur le Muséum, $414^{mm},72$ et au niveau du sol, $545^{mm},25$; le pluviomètre placé sur la cathédrale était à 64 mètres au-dessus de celui du jardin et celui du Muséum, à $12^m,4$ au-dessous du même. Ces trois nombres sont entre eux dans le rapport des nombres 59,15, 79,14, 100. — Ce phénomène remarquable n'a pas reçu d'explication pleinement satisfaisante. H. G.

Pluviomètre utilisé
au XIX^{ème} siècle en Suède



L'abri des thermomètres de Montsouris au XIXè siècle

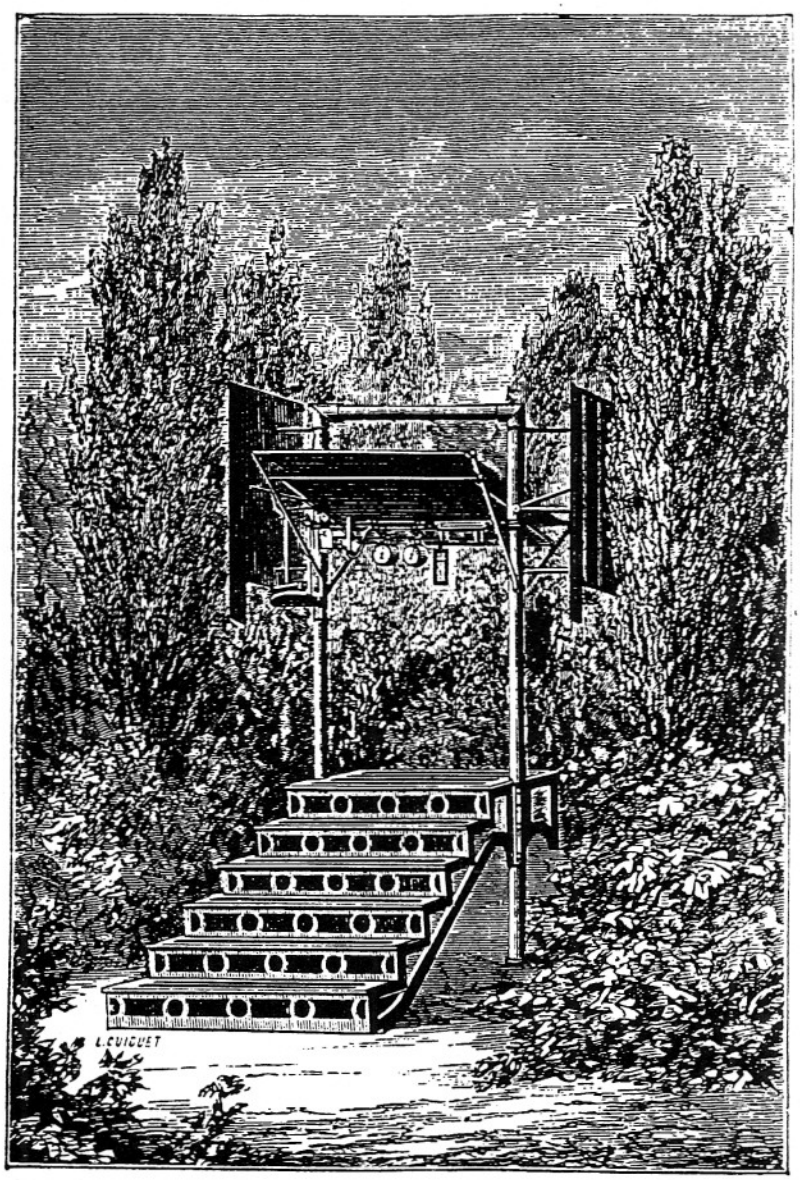


Fig. 29. — Abri des thermomètres de Montsouris.

En France et particulièrement à l'Observatoire de Montsouris, les thermomètres sont placés sous un toit à double paroi (fig. 29), d'un mètre carré d'étendue environ et légèrement incliné au-dessous de l'horizon du côté du sud. Deux plaques de tôle un peu écartées et des arbustes verts, disposés tout autour à l'exception du côté nord, servent à abriter les instruments et le sol lui-même des rayons du soleil. Dans un certain nombre d'observatoires étrangers, où l'on craint la violence des vents, on a préféré entourer le thermomètre d'une cage ouverte par le bas et dont les parois latérales sont constituées par des lames de bois disposées en forme de persiennes.

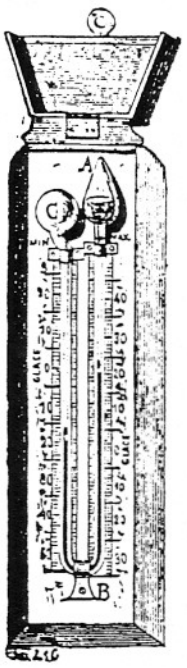


Fig. 30. — Thermomètrographe de Six et Bellani.

DU PREMIER EMPLOI DU MOT "MODULE" DANS LES SCIENCES DE L'EAU ou du Pouce de fontainier, de l'Once d'eau romaine et du Quinaire antique.

Sous l'Ancien Régime, la mesure des débits d'eau fournis aux fontaines a toujours posé des problèmes importants car, comme pour les autres unités de mesure, plusieurs variantes régionales coexistaient souvent sans possibilité de relations simples entre elles. La principale unité de mesure de distribution d'eau était le pouce de fontainier ou pouce d'eau qu'on définissait ainsi:

" quantité d'eau que fournit un orifice circulaire d'un pouce de diamètre, percé dans une paroi verticale, avec une charge d'eau de sept lignes sur le centre, ou d'un ligne sur le sommet ou point culminant de l'orifice"

Le débit fourni par un tel dispositif correspondait à environ une production d'eau de 19,2 mètres cubes par 24 heures.

Malgré sa définition apparemment rigoureuse ce dispositif avait un vice très grave c'était "de laisser la longueur de l'ajutage ou l'épaisseur de la paroi absolument indéterminée"; or si l'on faisait la mesure avec des parois de différentes épaisseurs, on obtenait des résultats (on disait alors des "produits") très différents.

C'est pourquoi, après la Révolution et après l'adoption du système métrique, on tenta d'uniformiser ces mesures.
Le Baron R. de PRONY qui fut directeur de l'Ecole des Ponts et Chaussées, fut chargé de cette mission ainsi que de trouver une nouvelle unité de mesure pour la distribution des eaux qui soit adaptée au système métrique français.

Les recherches et les expériences qu'il mena se déroulèrent en 1808 et 1809; il présenta ses conclusions en 1816 dans une communication à l'Académie des Sciences qui fut publiée la même année à l'imprimerie de Feuguerey (Paris) et de nouveau en 1818 à l'Académie.

Le Mémoire de R. de Prony, de 23 pages, se divisent en six chapitres qui analysent successivement les différents types de mesures anciennes et leurs relations réciproques, puis les rapports entre la population d'une ville et les quantités d'eau qu'on doit tenir à sa disposition, enfin les expériences originales qu'il fit à partir d'un appareil nouveau afin de définir un nouvel outil de mesure mieux adapté aux exigences de précision souhaitée.

A la suite de cela l'auteur propose une nouvelle unité:

"Ainsi en dernier résultat, l'unité de distribution d'eau que je propose, sera donnée, dans l'appareil de jauge, par

un orifice circulaire d'un centimètre de rayon, chargé sur son centre de 5 cm d'eau, l'écoulement ayant lieu par un ajutage de 17 mm de longueur"

Ce dispositif fournissait exactement 20 m^3 par 24 heures.

L'auteur proposa un nom à cette nouvelle unité de mesure. Voici comment il le justifie:

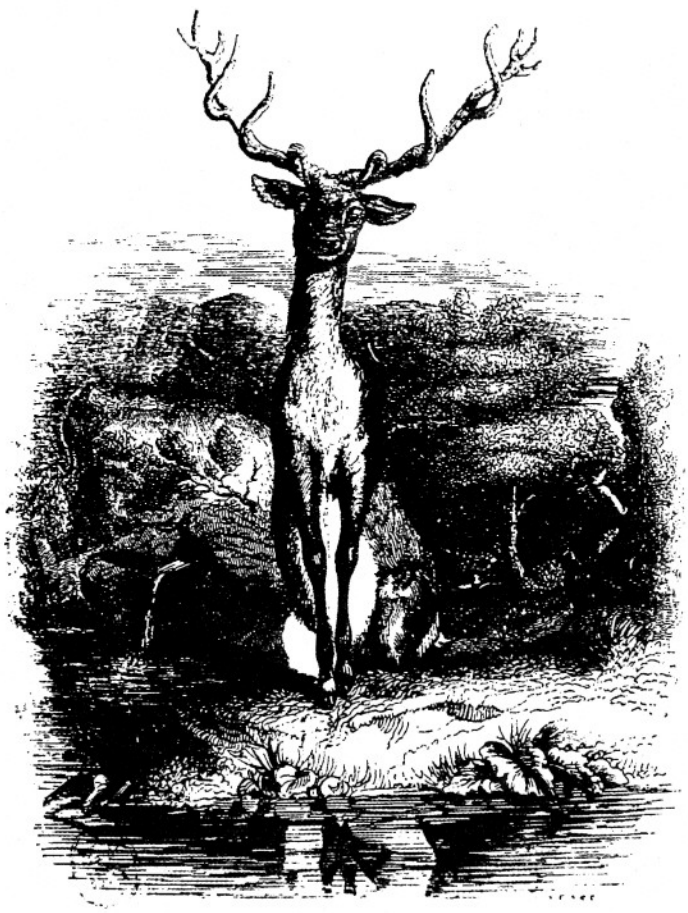
" Il reste à déterminer le nom par lequel on pourrait désigner cette nouvelle unité; les mots grecs qui se rapportent aux français eau et mesure se trouvant déjà employés en hydraulique et en physique dans des acceptations qui ne se rapportent pas exactement à l'idée qu'il s'agit d'exprimer, j'ai pensé qu'on pourrait adopter le mot français **module**, qui exprime en général le terme de comparaison d'une partie d'un tout avec ses autres parties, et qui est spécialement usité en architecture ; en joignant ce mot au monosyllabe eau, on aura l'expression **module d'eau**, qui n'est ni dure ni longue à prononcer et qui me semble propre à désigner la nouvelle unité à ajouter au système métrique décimal pour compléter ce système."

C'est à notre connaissance la première utilisation du mot module (d'eau) dans le domaine des sciences de l'eau mais combien différente de son actuelle utilisation. Si l'unité de mesure de Prony n'eut pas le succés qu'il espérait, il nous reste à découvrir comment le mot fut repris pour exprimer un débit moyen inter-annuel ou annuel suivant les humeurs de chacun (voir à ce sujet la fiche "débit moyen" dans le présent fascicule).

J.P.Carbonnel

Bibliographie:

PRONY R.G. (Baron de) - Mémoire sur le rapport du pouce de fontainier avec l'once d'eau romaine moderne et le quinaire antique; et sur la détermination d'une nouvelle unité de mesure pour la distribution des eaux, adaptée au système métrique. Mémoire de l'Académie des Sciences, 1816 (publié en 1818-19), Tome II, 23 p. (Réf. BN: R 3945) et Imprimerie de Feugueray, Paris, 1816, in-8°, 23-6p., pl. (Ref.BN Vp 5622)



LE CERF SE VOYANT DANS L'EAU

Le sens du mot HYDROLOGIE en 1753

Le Robert donne la date de 1614 comme date d'apparition du mot "hydrologie". Pour notre part nous avons trouvé un petit traité de 1753 intitulé : HYDROLOGIE ou description du régne aquatique divisé par classes, genres, espéces et variétés avec la manière de faire l'essai des eaux. Ce traité, traduit de l'allemand, lui même traduit du suédois, est de Jean Gottschalk WALLERIUS et a été publié à Paris chez Durand et chez Pissot. Il figure à la BN sous la référence S 19921 et S 19922.

Ce traité d'hydrologie de 256 pages fait suite à une "Minéralogie" du même auteur qui occupe le premier tome et plus de la moitié du second.

Nous fournissons ci-après quelques extraits de la partie qui nous intéresse. Dans la Préface de l'auteur, on relève:

" On nomme Histoire Naturelle, la Science qui s'occupe de l'énumération et de description des différents corps... elle diffère de la Physique, non par la nature mais par l'étendue de son objet; la Physique est plus universelle dans ses vues et plus Philosophique dans son examen; le Physicien envisage, raisonne, explique, le Naturaliste regarde, ramasse et range; celui-ci vous dira, il existe tel corps dans la nature; il est fait, soit au dedans, soit au dehors, de telle ou telle manière; il est de tel ou tel régne, classe...; celui-là prétendra vous expliquer les causes de son existence, de ses formes et de ses propriétés."

.....

" Le régne aquatique comprend l'énumération et la description des corps mixtes, simples, non organisés qui souffrent une diminution continuelle; on nomme la connaissance de ce régne Hydrologie et celui qui la possède Hydrologiste."

Wallerius présente ainsi une "classification du régne aquatique" à la manière d'une classification zoologique en deux classes principales: les eaux douces ou communes et les eaux minérales; la première étant subdivisée en deux ordres ou divisions, les "eaux du ciel" et les "eaux terrestres", la seconde en "eaux minérales" et "eaux thermales". Cette classification est essentiellement chimique et on ne peut s'empêcher de rapprocher cette approche de ce que nos pharmaciens actuels mettent sous le vocable "hydrologie".

Ainsi donc l'hydrologie fut au XVIIIè s. surtout affaire d'hydrochimie, d'hydrologie des eaux thermales, d'étude des eaux en tant qu'espèces naturelles à décrire au même type que les minéraux.

J.P.Carbonnel

De l'existence de cycles en hydrologie et de l'usage des statistiques ...en 1828

Extrait de l'article "Météores aqueux" in Dictionnaire des Sciences Naturelles, 1828, Paris.

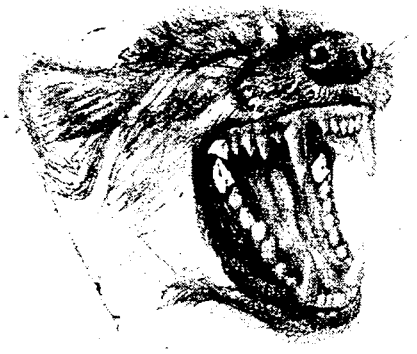
".... C'est en vain qu'on a cherché, pour la succession des phénomènes météorologiques, des périodes comme on en a trouvé dans les mouvements des astres; aucune connaissance précise n'est résultée des hypothèses sur lesquelles on s'est appuyé et des combinaisons qu'on a faites de la multitude d'observations qui ont été rassemblées.

Le penchant qui porte l'esprit humain à lier ensemble, dans la relation de cause et d'effet deux phénomènes qui se succédent, et qui l'ont si souvent égaré, parce que les esprits peu éclairés sont plus frappés par une coïncidence fortuite que par un grand nombre de discordances qu'ils ne remarquent pas ou qu'ils oublient; ce pendant, dis-je, a fait regarder par le peuple les phases de la lune comme les époques necessaires du changement de temps, c'est à dire, des alternances de froid et de chaud, de temps sec ou pluvieux.

Mais dans ce cas, comme dans tous les autres, il faut demander à ceux qui se prononcent si hardiment sur les liaisons des effets, s'ils ont eu soin de former des listes des événements d'après lesquels ils sauraient dire combien de fois la succession a eu lieu et combien de fois elle a manqué, afin qu'on puisse juger si le nombre d'observations est suffisant pour qu'il en résulte une grande probabilité de la correspondance entre l'effet et la cause présumée. C'est ainsi que sans savoir comment le quinquina guérit les fièvres périodiques, ni même ce que c'est que le fièvre, on a pu constater l'efficacité du remède en observant sur un grand nombre de malades combien de fois il avait réussi.

C'est à de semblables calculs que doivent se ramener la plupart des connaissances humaines dans lesquelles il ne nous est pas donné d'apercevoir les détails de l'opération qui s'effectue (voyez mon Traité élémentaire du calcul des probabilités) .... et cette marche rejette bien loin l'influence de la lune..." (L.C)

C'était notre rubrique **Relire les anciens.**



De l'origine de certaines idées fausses en hydrologie au Moyen Age et après.

Extraits de Genèse, 7 (Le Déluge)

..." au second mois (de l'an 600 de la vie de Noè), le dix-septième jour du mois, en ce jour-là jaillirent toutes les sources du grand abîme, et les barrages des cieux s'ouvrirent. La pluie tomba sur la terre pendant quarante jours et quarante nuits.... Le déluge vint sur la terre pendant quarante jours. Les eaux enflérent et soulevérent l'arche qui fut portée au dessus de la terre. Les eaux grossirent et montérent grandement sur la terre et l'arche flottait à la surface des eaux. La crue s'accentuant de plus en plus, les eaux couvrirent toutes les hautes montagnes qui sont sous les cieux; elles dépassérent de quinze coudées le sommet des montagnes qu'elles recouvraient..... La crue des eaux sur la terre dura cent cinquante jours....

..."Dieu se souvint de Noè... aussi fit-il souffler un vent sur la terre et les eaux baissérent(*). Les sources de l'abîme se fermèrent, ainsi que les barrages des cieux, et la pluie du ciel s'arrêta. Les eaux se retirèrent progressivement de la terre; elles commencèrent à baisser au bout de cent cinquante jours. Et au septième mois, le dix-septième jour du mois, l'arche s'arrêta sur les montagnes d'Ararat. Les eaux diminuèrent peu à peu jusqu'à ce qu'au dixième mois, le premier jour du mois, apparurent les sommets des montagnes...

..."L'an six cent un, au premier mois, le premier jour du mois, les eaux avaient laissé la terre à sec.... Au deuxième mois, le vingt-septième jour du mois, la terre était sèche."...

(*) cette croyance en l'action du vent sur les phénomènes de décrue etait encore vivace au 17è siècle chez les premiers hydrologues.

Le DELUGE d'avant le Déluge...

Extraits de l'Epopée de Gilgamesh (IIè millénaire av.J.C.)

...
Le soir du septième jour
Le bateau était achevé.
...
Samas
M'avait fixé le moment :
"Quand je ferai pleuvoir,
A l'aurore des petits pains,
Et des averses de froment, au crépuscule,
Introduis-toi dans le bateau
Et obtures-en l'écoutille !"

Et le moment fatal arriva :
Lorsque, dés l'aurore,
Il chut des petits pains,
Et des averses de froment, au crépuscule,
J'examinai
L'aspect du temps :
Il était
Effrayant à voir !
Je m'introduisis donc dans le bateau
Et j'en obturai l'écoutille...
...
Lorque brilla
Le point du jour
Monta de l'horizon
Une noire nuée
Dans laquelle
Tonnait Adad*,
Précédé
De Sullat et Hanis,
Hérauts divins
Qui sillonnaient collines et plat pays.
Nergal
Arracha les étais des vannes célestes
Et Ninurta se mit
A faire déborder les barrages d'en haut,
Tandis que les Dieux infernaux,
Brandissaient des torches,
Incendiaient, de leur embrasement,
Le pays tout entier.
Adad déploya dans le ciel
Son silence-de-mort,
Réduisant en ténèbres
Tout ce qui avait été lumineux
....(manque)...
Brisèrent la terre comme un pot.
Le premier jour
Que souffla la tempête
Si furieuse elle souffla
Que ..(manque)..
Et l'Anathème passa

Sur les hommes, comme la Guerre.
Personne
Ne voyait plus personne :
Du ciel, les multitudes n'étaient plus discernables,
Parmi ces trombes d'eau.
...

Six jours
Et sept nuits durant,
Bourrasques, Pluies battantes,
Ouragans et Déluge
Continuèrent de saccager la terre.
Le septième jour arrivé,
Tempête, Déluge et Hécatombe cessèrent,
Après avoir distribué leurs coups au hasard,
Comme une femme dans les douleurs.
La "Mer" se calma et s'immobilisa,
Ouragan et Déluge s'étant interrompus !
Je regardai alentour :
Le silence régnait !
Tous les hommes avaient été
Retransformés en argile;
Et la plaine liquide
Semblait un toit-terrasse.
....

* Adad est le patron surnaturel des phénomènes atmosphériques pluies et orages notamment.

Extraits de: - L'Epopée de Gilgamesh. Le grand homme qui ne voulait pas mourir. Traduit de l'akkadien et présenté par Jean BOTTERO. Edit. Gallimard, coll. "L'aube des peuples", Paris, 1992, 291 p. (extraits des pages 188 à 192).

Un curieux mot et une définition savoureuse.

HYDROSCOPE. On a donné ce nom à des charlatans qui prétendoient voir couler l'eau à une grande profondeur sous terre, et qui découvroient ainsi les sources avec autant de facilité qu'on découvre les trésors par le moyen de la baguette divinatoire. On seroit surpris sans doute d'apprendre que cette puérilité ait trouvé des partisans, même parmi des hommes qui sont supposés instruits, si l'on ne voit pas combien LE MERVEILLEUX a d'attraits pour nous, combien ses prestiges sont puissants pour faire disparoître à nos yeux l'invraisemblance des prétendus phénomènes et leur défaut total d'analogie avec les véritables phénomènes de la nature. Notre siècle est sans doute le siècle des lumières ; mais on sait bien qu'il y a des taches même dans le soleil . (PAT.).

extrait du Dictionnaire d'Histoire Naturelle, Paris ,**1803**

Hydrologie et Poésie :

L'AMAZONE vue par Onésime Reclus, 1886

Fleuve des Amazones : rio Négro, Madeira. — Les rivières du Brésil tempéré ou demi-tempéré n'égalent point le rio du Brésil équatorial, le Maragnon ou fleuve des Amazones.

Les Brésiliens appellent le fleuve des Amazones, Maranhão[2] en aval du confluent du rio Négro, et rio de Solimões[3] en amont. Pour les Indiens, c'était, c'est encore le Tunguragua, le Paranáguassou (Grand Fleuve), le Paranátinga (Fleuve Roi). Près de 6000 kilomètres de course[4]; une largeur telle que souvent un bord ne se voit pas de l'autre et que le voyageur suivant le milieu n'aperçoit que des eaux jusqu'au cercle de l'horizon; 100 kilomètres d'ampleur, 200 même, quand les grands débordements élèvent le flot de 14 mètres; 50 à plus de 100 mètres de profondeur; un bassin de 700 millions d'hectares, treize fois la France; un étiage de 17 000 à 18 000 mètres

Embouchure de l'Amazone. — Dessin de Riou, d'après un croquis.

cubes par seconde, un débit moyen de 80 000, et 250 000 devant le bourg d'Obidos lors de la grande montée des eaux, déluge immense qui descend par sa propre force, car la pente est presque nulle[1]; 750 kilomètres de marée jusqu'à ce même Obidos où le rio n'a que 1566 mètres de large, — ce qui serait lac pour nos ruisseaux est défilé pour lui, — 50 000 kilomètres navigables sur son bras majeur, « sur ses furos, ou fausses rivières, sur ses igarapés[2] ou bras latéraux, sur ses affluents et les tributaires et sous-tributaires de ses affluents; des enchentés ou inondations à perte de vue; cent vingt jours de hautes eaux recouvrant des îles sans nombre et changeant en un vaste lac l'embouchure de rivières grandes comme Rhône, Danube ou Volga; des tributaires de toute couleur : tantôt bleus, tantôt blancs comme le laiteux Madeira, le Yapura ou le Purus, tantôt gris comme le Xingú, tantôt verdâtres comme le Tocantins dont le vert tire sur le jaune, ou le Tapajoz dont le vert tire sur le brun, tantôt d'un noir ambré comme le rio Négro dont la teinte ressemble au brun transparent des rivières du granit canadien; des tempêtes funestes, des vagues comme en mer, des courants violents comme sur un rivage océanien; trois fois plus d'espèces de poissons que

Végétation des rives du bas Amazone. — Dessin de Riou.

dans l'Atlantique : avec tout cela l'Amazone est bien le vrai « Père des Eaux », mais non des eaux pures : il ne vaut pas le Saint-Laurent.

Le Brésil ne possède pas le haut du Maranhão, propriété du Pérou. Arrivé dans la Néo-Lusitanie à Tabatinga, le fleuve s'étale en îles, en bras et faux bras, en marais, en lagunes. Sauf de grands replis, il marche droit à l'est, tout près de la Ligne, au sud : aussi l'a-t-on nommé l'Équateur visible. Au nord comme au midi, c'est-à-dire à gauche comme à droite, le solennel rio, fait d'eau sans transparence, frôle des forêts infinies cimentées par des lianes, double tenture d'arbres, de tiges flexibles, de palmes qui ont jusqu'à 15 mètres de long. C'est la plus pompeuse forêt du Globe, les selvas, gloire du Brésil, avec les rivières pour chemins, les ruisseaux pour sentiers, pour seuls hôtes les Indiens, et des Blancs qui recherchent l'arbre à caoutchouc. La hache ouvrira bientôt au soleil leurs immensités obscures, œuvre inique tant elle sera rapide, égoïste, folle et désordonnée. C'est parce que le dôme de la forêt garde rios, igarapés, lacs et lagunes, eaux dormantes, eaux courantes, humide fraîcheur du sol, tout le trésor des pluies pour la saison sans pluies, que le Maranhão roule son énorme lame d'eau, qui peut aller en grande crue jusqu'au quart des flots courants du monde (?).

1. 155 mètres seulement du pied des monts à la mer, distance de 4000 kilomètres.

2 Mot à mot : sentiers des canots.

L'Hydrologie dans la littérature ou la littérature-crue

"... Mais ce combat fut obmis à cause d'une horrible crue du Tybre et vorages (tourbillons) par trop dangereuses, comme vous savez que c'est un des plus inconstans fleuves du monde, et croît inopinèment, non seulement par esgoutz (écoulement) des eaux tombantes des montagnes à la fonte des neiges ou autres pluies, ou par regorgemens des lacs qui se deschargent en iceluy, mais encores par maniere plus estrange par les vents austraux qui, soufflans droit en sa boucque près Hostie, suspendant son cours et ne lui donnans lieu de s'escouller en cette mer Hétrusque, le font enfler et retourner arrière, avecques misérable calamité et vastation des terres adjacentes..."

Rabelais, La Sciomachie (extrait de lettres au Cardinal de Guise), 1549

"... L'an 1600 le 16 Septembre, où depuis le matin jusqu'à onze heures avant midy après plusieurs grands Tonnerres, le Rhône fit en trois ou quatre reprises une espèce de flux et reflux, c'est à dire, qu'il s'arrêta autant de fois sans couler, les eaux remontans dans le lac Léman, sur le bord duquel est Genève, et laissant son lit à sec en des lieux où auparavant il y avait plus de cinq pieds d'eau.
La raison qu'on rend de cette merveille de la nature est qu'il y a grande apparence qu'elle arriva par une espèce de tremblement, ou soulévement de terre, par lequel ce Terrain élevé trois ou quatre fois par l'agitation des vapeurs souterraines, sous l'endroit d'où le Rhône sort du Lac, empècha ce Fleuve de couler, après quoy le même Terrain se rabaissant par sa propre pesanteur, l'eau reprenait sa course ordinaire...."

Extrait du Journal des Sçavans , 29 janvier 1680.

La dictée de Pivot (DICO d'OR) en 1996.

LA LOIRE

Elle roule, coule, s'enroule, la Loire, tendre ou impétueuse, entre vals et près. Ni les donjons qui s'y sont reflétés, ni les gentes dames qui s'y sont mirées, ni les amoureux qui y ont canoté n'ont réussi à la canaliser. Est-il né celui qui, es qualités, la domptera ?

Troublante maîtresse ou fascinante traîtresse que nul n'apprivoise, la Loire affouille son lit en tourbillonnant. tantôt elle serpente, sauvage, inondant les champignonnières, effrayant les martins-pêcheurs, charriant tout sur son passage. Tantôt, empreinte d'une douceur toute angevine, elle caresse les vignobles, effleurant quelques ceps tortus, et berce les gabarres et les plates.

Regardez, dans les eaux ligériennes, l'aloze nacrée, l'ablette ou le barbeau, les hideuses lamproies et les sandres filer vers les gammares séchés et autres appâts lancés par les pêcheurs assis sur des perrés. Sur quelque mille kilomètres du Mont Gerbier - de - Jonc jusqu'à la mer, admirez au dessus des remous, le vol des aigrettes et des grèbes huppés; voyez, sur les lieux plains les alluvions accumulées, mais, surtout, gardez-vous d'emprunter les bancs de sable. Méfiez-vous encore des crues qui envahissent les chemins de halage. Réfugiez-vous plutôt près des coteaux, dans une habitation troglodytique. Car perfide est la Loire: mieux vaut découvrir ses appas du haut des levées que d'être trop à ses pieds.

Dictée du 9 novembre 1996.

PETITE REVUE DE PRESSE

«Impossible de définir scientifiquement une langue: c'est un objet politique. Le parler est un terme utilisé par les savants qui ne veulent pas se mouiller.»
Jean Le Du

PARADOXAL MAIS PHYSIQUE

Étienne Klein

L'eau, une idée qui ne sombre pas

Thalès de Milet (~624 ~548 av. J.-C.), connu de tous pour son théorème éponyme, proclamait que « *L'eau est la cause matérielle de toutes choses* ». N'est-ce pas elle en effet qui fait pousser les végétaux, désaltère l'homme, abrite les poissons dont il se nourrit ? N'est-ce pas l'eau encore qui, tombant du ciel, ou se cachant dans la terre au fond des puits, irrigue les champs et fait tout croître ? Dans les deltas des rivières, elle semble se transformer en terre. Ailleurs, elle semble en jaillir. Parmi toutes les choses visibles, insiste Thalès, l'eau est celle qui prend les formes les plus variées : glace, neige, vapeur, nuage, liquide, sans compter les roches, que les Grecs croyaient formées d'eau gelée. Plus polymorphe que l'eau...

Thalès inaugure ainsi l'ambition de métamorphoser les connaissances dispersées en un savoir rationnel et cohérent, débarrassé de la tutelle des magies. Il remplace le mythe et la fable par le raisonnement du philosophe, qui ne peut se satisfaire des multiples engendrements de Gaïa ou des manifestations autoritaires de Zeus. Sa démarche, foncièrement économe, rompt avec l'habitude mythologique consistant à multiplier les causes arbitraires et les explications *ad hoc*. C'est en ce sens qu'elle annonce la science. Thalès imagine par exemple que la Terre flotte sur les eaux, après s'être concrétisée à leur surface comme se concrétise la boue des estuaires. Bien sûr, il est tentant de ridiculiser cette hypothèse et de vite la ravaler au rang de philosophie de maître nageur. Alors qu'il suffit de placer une pierre dans l'eau pour s'apercevoir qu'elle coule, comment soutenir l'hypothèse d'une terre restant émergée au-dessus d'une eau cosmique ? Pourtant, la conception de Thalès n'est pas sans pertinence. D'abord, on peut voir en elle le lointain ancêtre de la théorie de la dérive des continents, énoncée au début de ce siècle par Wegener qui, remarquant que les côtes de l'Afrique et du Brésil s'ajustaient les unes aux autres, avait supposé que les continents avaient lentement glissé sur une substance liquide. Ensuite, on peut remarquer que la cosmogonie de Thalès accorde à notre planète et aux cieux une assise autrement plus rationnelle, et aussi plus sûre, que les épaules d'Atlas. Ces dernières étaient certes solides, mais sans doute fatigables à la longue... Et puis l'eau, si elle n'est plus un corps simple, reste une condition essentielle de la vie. La publicité l'a d'ailleurs bien compris, qui ne cesse d'associer eau (minérale) et vitalité. Non, Thalès n'est pas ridicule du tout. Un cinéaste bien connu a pu, vingt-cinq siècles après, intituler son film *Waterworld* sans déclencher l'hilarité générale. Fait amusant, l'idée que l'eau est le principe fondamental de l'univers se retrouve, subtilement dissimulée, sous le nom du plus célèbre de nos écologistes, marin de surcroît. « *Le commandant Cousteau* » n'est-il pas l'exacte anagramme de « *Tout commença dans l'eau* » ? Le propre des grandes idées est de ne jamais mourir tout à fait. ■

in La Recherche, n°284, fevr.1996

Les biologistes ont aussi des maux .... avec les mots.

L'ÉVOLUTIONNISTE

Antoine Danchin

Un bricolage linguistique bien enrichissant

La biologie moléculaire se développe de façon explosive, et comme toutes les sciences, le savoir correspondant se transmet dans le monde à l'aide d'un *esperanto*, succédané d'anglais, que parlent presque tous les chercheurs du monde. Rien à dire à cela, il faut bien pouvoir communiquer avec un Japonais, un Américain, un Russe ou un Allemand. Cela justifie-t-il pour autant l'abandon de sa propre langue lorsque l'on communique avec les siens ? « *Ce qui se conçoit bien s'énonce clairement* », et le vocabulaire a une grande importance dans la conceptualisation des choses. Il véhicule en particulier toutes sortes de connotations qui font comprendre de façon intuitive ce dont il est question. Il est donc important d'utiliser le mot approprié, et non la transposition grossière d'un anglais approximatif. Le jargon de spécialiste sert bien souvent à éviter la communication, et ne marque en fait qu'une grande ignorance. Celui qui entend « initiation » va immédiatement penser aux rites rapportés par les anthropologues, et il aura du mal à comprendre qu'on veut lui parler d'un commencement, d'un départ ou d'un début. Et s'il entend « élongation », il se demandera quel sport pratiquait la victime, alors qu'on veut indiquer l'allongement d'une chaîne. De même, il faut savoir créer avec le génie de sa langue des néologismes : on sait le succès d'« ordinateur » et de « logiciel ». Pourquoi ne pas faire preuve, en biologie, de la même richesse imaginative ? Comme les organismes vivants, les langues évoluent par bricolage. Mais que dire de l'affreux « spliceosome », formé sur « splicing » (épissage) et du suffixe grec *-some* ? Laissons donc aux Américains sans histoire ces oxymores, et, pour exprimer qu'un édifice compliqué sert à l'épissage de fragments d'ADN, appelons-le, par exemple, « coptosome » (de *cobo*, « je couds » et *soma*, « corps »). ■

in La Recherche, n°283, janv.1996

An 2000, le siècle de tous les bugs

Codée sur deux chiffres, l'année 2000 se lira 00 comme 1900. De quoi dérouter les ordinateurs !

Dans les dîners en ville, l'informaticien sait désormais comment captiver l'auditoire. Il lui suffit de passer en revue les fléaux qui risquent de s'abattre sur nous le 1er janvier 2000. Du plus bénin au plus dramatique: la cafetière programmable qui vous lâche, un lendemain vaseux de réveillon; le magnétoscope qui ne répond plus de rien; le salaire qui n'a pas été viré; la Carte bleue odieusement rejetée par le distributeur ... sans oublier diverses catastrophes, aériennes, ferroviaires, voire nucléaires. Il blague, se dit l'assistance. L'informaticien exagère, bien sûr, mais le problème est bien réel. En l'an 2000, les ordinateurs ne sauront plus compter. Pourquoi? C'est très simple. Prenez votre numéro de Sécu. L'année de naissance y figure, codée sur deux caractères: 67, pour un(e) assuré(e) né(e) en 1967. Sur des milliards de lignes de programmes informatiques, c'est la même chose: les dates s'affichent sur six chiffres (JJ/MM/AA) et non sur huit. L'an 2000 se lira donc 00. Une nullité fatidique, qui va constituer un véritable casse-«tête» pour l'intelligence limitée et artificielle des systèmes informatiques. En effet, s'agit-il de 00 comme 1900 ou comme 2000? Chez nos amis ordinateurs, la perplexité s'exprime par des «bugs».

Un sévère «plantage» est donc à prévoir. Tant que l'année est exprimée sur deux chiffres, l'ordinateur ne peut envisager que 00 soit supérieur à 99 dans ses calculs (l'ancienneté d'un salarié, par exemple). «*Il va y avoir une grande quantité d'ennuis, liés au fait que plein de programmes vont se planter... Les logiciels testent pendant leur fonctionnement si, par exemple, une date est inférieure à 1900 ou supérieure à 2000. Ils rejettent ainsi les dates fantaisistes en se disant: ce n'est pas possible, ce n'est pas vraisemblable...*», dixit Roland Moreno, l'inventeur de la carte à puce. Des ratés ont déjà eu lieu. Aux Etats-Unis, où la validité de certaines cartes de paiement court sur cinq ans, les utilisateurs ont eu l'an dernier la mauvaise surprise de se voir refuser leurs transactions à cause du fameux 00. Plus cocasse: la mésaventure de cette centenaire américaine, née en 1892, convoquée illico à... la maternelle par l'ordinateur de sa commune. Ou ces médicaments rapportés à la pharmacie parce que la date limite d'utilisation paraît suspecte.

IMMANUEL KERNER

Si, depuis le début, on avait codé l'année sur quatre chiffres, de tels désagréments n'auraient pas eu lieu. Que s'est-il donc passé dans la tête de nos programmeurs? «*Il y a vingt ans, il fallait économiser au maximum le nombre de caractères*, rappelle Benoît Robert, de l'éditeur de logiciels Computer Associates, *les disques durs n'avaient pas la même capacité de mémoire. L'an 2000 paraissait bien loin et d'ailleurs, on n'imaginait pas que des applications tiendraient jusque-là.*» Ce souci d'économie risque aujourd'hui de coûter très cher. Car il va falloir passer au crible des milliers de lignes de programmes à la recherche des dates qui coincent, puis les modifier. Pour ce qui est des logiciels standard vendus dans le commerce (en gestion, par exemple), le problème semble moins grave: les éditeurs développent sans cesse de nouvelles versions, et beaucoup d'entre eux ont déjà intégré des corrections en vue de l'an 2000 (1).

En revanche, pour les gros programmes développés pour les banques, l'industrie, les grandes sociétés, le travail est titanesque. Et pour l'effectuer, il ne reste que trois ans et demi. Idéalement, il faudrait même que tout soit réglé avant le 1er janvier 1999. Les Américains, les premiers, ont tiré la sonnette d'alarme. Depuis quatre-cinq ans, des conférences se tiennent sur le «Year 2000 problem». Le Gartner Group (Stamford, Connecticut), qui analyse le secteur informatique, travaille sur la question depuis 1988. Selon ses estimations, à l'échelle de la planète, le montant de la facture se situerait entre 300 et 600 milliards de dollars pour les entreprises (1,5 à 3 milliards de francs). Une fourchette vertigineuse – bien que difficilement vérifiable. Gartner Group avance un autre chiffre inquiétant: fin 1999, 30% des applications ne seront pas prêtes pour le passage à l'an 2000!

En France, depuis le début de l'année, le sujet gagne en audience. Selon le Clusif (Club de la sécurité informatique français), entre 10 à 30 milliards de francs seront nécessaires pour passer le «grand soir». Les informaticiens, eux, peuvent se réjouir: beaucoup de travail en perspective! A la SNCF, Philippe Hamel estime qu'il faudra 100 années-homme (100 hommes pendant un an), notamment pour la «mise à jour» du logiciel de ressources humaines qui gère les 180.000 cheminots. «*La facture s'élèvera à 60 millions de francs sur les années qui viennent, soit une augmentation de 1% de notre budget informatique – qui est de 2 milliards de francs.*» Quant au système Socrate, il n'est pas question d'en profiter pour s'en débarrasser, selon le responsable du pilotage et de la coordination du système d'information de la SNCF qui prévoit seulement quelques modifications.

Du côté du Crédit foncier de France, on s'estime prêt pour le troisième millénaire. Philippe Steff, le directeur informatique, explique: «*Depuis 84-85, on traite l'année sur quatre chiffres. Comme nous faisons des prêts sur trente ans, nous avons rencontré le problème très tôt, dans les années 70.*» Il ajoute: «*Quoi qu'on fasse, je reste persuadé que cela se passera mal... tout simplement parce qu'aujourd'hui, une entreprise a vocation à échanger chaque jour avec d'autres, donc, même si nous sommes prêts, nous ne pourrons pas savoir ce qu'auront fait les autres.*» Nombre de professionnels partagent cette opinion.

«*Aujourd'hui, la plupart des grandes structures ont un responsable "an 2000"*», affirme Vincent Balouet, chargé de mission au Cigref (Club informatique des grandes entreprises françaises). Outre l'aspect technique, l'impact économique est à considérer sérieusement: une centenaire convoquée à la maternelle, c'est plutôt amusant, des tonnes de marchandises bloquées faute de paiement, une usine paralysée, c'est catastrophique. Pour le Clusif, l'an 2000 représente un risque majeur: «*Il se pourrait que l'on ait affaire à un sinistre sériel de grande ampleur, dont les effets ne pourraient être corrigés avant plusieurs semaines.*» Des diagnostics ont été faits, des solutions existent sur le marché mais, pour l'heure, «*personne n'a véritablement réglé le problème*», estime Patrick Vigan, chez Sligos, société européenne de services. Le compte à rebours a commencé: il reste moins de 1.500 jours pour désamorcer la bombe ●

MARIE-HELÈNE MARTIN

(1) Enquête menée en janvier par le Centre d'expertise des progiciels auprès de 520 concepteurs et distributeurs de logiciels standard.

Une aide en livre

Avec *le Syndrome de l'an 2000*, le papier vole au secours de l'informatique. Technique (comment pister et résoudre le problème), complet (annuaire de sociétés spécialisées, adresses Internet...), l'ouvrage affirme que des incidents peuvent intervenir dès 1998. Et les passe en revue. Dans les deux scénarios possibles étudiés chez IBM (site centralisé, environnement client/serveur), se retrouvent tous les bugs imaginables: systèmes de sécurité neutralisés (le 1er janvier 2000 est un samedi mais en 1900 c'était un lundi) ou bloqués, avions déroutés, standards téléphoniques hors service, factures détruites (soudainement impayées depuis 1900!)... Le grain de poussière qui cause le chaos mérite cet achat...

FRANCIS MIZIO

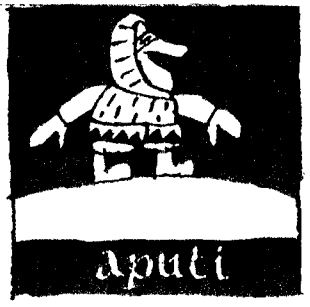
«Le Syndrome de l'an 2000, stratégies de conversion des formats de date», Daniel Giraudeau, Eyrolles, 180 pp., 149 F.

10 mots pour dire la neige

parmi les vingt-cinq termes utilisés par les Inuits du Québec.

BENOIT JACQUES

Neige qui tombe.



Neige sur le sol.

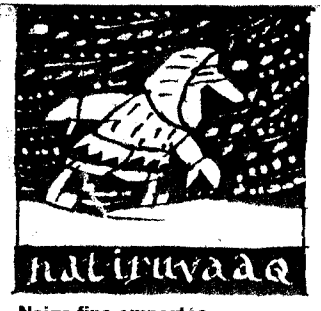
Neige molle sur le sol.

Neige à demi-fondue sur le sol.

Neige cristalline sur le sol.

BENOIT JACQUES

Fine couche de neige poudreuse.



Neige fine emportée par le vent.

Neige dont la surface est gelee.

Neige pour faire de l'eau.

Neige en train de fondre, utilisée comme ciment pour les igloos.

«Tout chercheur plonge dans la science subit une poussée de bas en haut susceptible de lui remonter le moral.»
Pierre Desproges